

Título do trabalho:

O que as respostas dos organismos podem nos dizer sobre contaminação/reparação? Uma reflexão sobre como recalibrar as ferramentas da antropologia para nos equiparmos ao estudo de paisagens arruinadas.

Gabrielly Merlo de Souza¹

Resumo: A Antropologia tem sido convocada a olhar para o “design não intencional” das paisagens (Tsing, 2019). Dentre outras coisas, a noção nos chama atenção para o “descentramento do humano” nas histórias que contamos. As histórias humanas seriam tão relevantes quanto as histórias não humanas: “é aqui que a curiosidade e a imaginação entram em jogo” (2023²). Em especial, estudos voltados para impactos socioambientais e desastres ecológicos – isto é, sobre o nosso mundo *no* Antropoceno –, o olhar para o design não intencional nos leva a histórias de perturbação em que humanos e não humanos são autores e vítimas. Inspirada por esses debates, minha pesquisa de pós-doutorado, ainda em andamento, retorna ao tema da recuperação/regeneração de ambientes. O “design não intencional” que examino envolve os rejeitos de mineração de ferro e à recuperação de áreas degradadas após rompimento de barragens. Tomo como evento-crítico o crime-desastre da Samarco, ocorrido em 2015 no município de Mariana (MG). Nos levantamentos realizados até o momento, um ponto me chama atenção: os fungos micorrízicos arbusculares aparecem com frequência em relatórios e artigos científicos como agentes de melhoramento das condições físicas das áreas degradadas. Atenta às respostas às ecologias antropocênicas e ao que esses fungos podem ou não dizer, busco refletir sobre o que fazem os organismos em contextos de contaminação. Interessame pensar o que suas ações informam sobre: 1. “ecologias de distúrbio” (rupturas de relações ecológicas, novas ecologias) e 2. os resultados das próprias análises ecotoxicológicas nos locais afetados.

Palavras-chave: ecotoxicidade; ciência do solo; mineração; regeneração ecológica.

1. Introdução

O presente artigo apresenta parte dos resultados iniciais de uma pesquisa de pós-doutorado em andamento³. O estudo teve origem em uma inquietação suscitada pela leitura do artigo de Creado, publicado em 2022. Nesse trabalho, a autora analisou publicações científicas sobre a contaminação das águas após o rompimento da barragem de mineração da Samarco S.A., em parceria com a BHP Billiton e a Vale S.A., ocorrido

¹ Doutora em Antropologia (PPGAN/UFMG) e pesquisadora de pós-doutorado CNPq (PPGCS/UFES).

² Texto publicado em revista online. Acesso pelo link: <https://piseagrama.org/artigos/paisagens-antropogenicas/>

³ O projeto de pós-doutorado foi submetido e aprovado pelo CNPq em 2024. As atividades começaram em dezembro daquele ano e seguem até dezembro de 2025.

em 2015. Mais do que examinar os impactos imediatos, Creado voltou-se às co-constituições e volatilidades da toxicidade, investigando como as substâncias circulam, se transformam e enredam vidas humanas e não humanas.

Os insights produzidos a partir do levantamento secundário da literatura e de documentos relativos ao desastre suscitaram em mim uma questão central: como pensar a toxicidade e seus efeitos não apenas como um dado técnico, mas como algo capaz de reconfigurar relações sociais, científicas e ecológicas? Foi desse ponto que emergiu o projeto de pós-doutorado que ora apresento os resultados parciais da pesquisa.

Como observa Creado (2022), os riscos da toxicidade para a saúde pública “tendem a aparecer de forma modesta e indireta nas produções naturalistas” (p. 170). Essa ausência ou sutileza, contudo, contrasta com as preocupações concretas e cotidianas das comunidades atingidas. A partir da análise de relatórios técnicos e publicações científicas que analisam os efeitos do rompimento da barragem sobre as águas oceânicas – pesquisa iniciada por Creado⁴ –, meu projeto de pós-doutorado trouxe a proposta de analisar os impactos da contaminação nas águas doces. Essa escolha dialoga com a noção de “água moderna”, desenvolvida por Linton (2010) e Linton e Budds (2014), e com a abordagem de Creado (2022), que entende os ambientes aquáticos como dotados de desafios próprios, em razão da “materialidade oceânica”, altamente transformadora e marcada pela multiplicidade de agenciamentos.

Falar em contaminação é abrir uma questão central: o termo carrega sentidos distintos e em disputa. Para as empresas mineradoras e o governo, certos níveis de toxicidade podem ser considerados aceitáveis. Para cientistas, os resultados variam conforme o laboratório, o protocolo e até a disciplina de origem. Para as comunidades locais, pescadores e agricultores, a percepção é de impactos muito mais diretos e imediatos. As disputas narrativas podem culminar em um tipo de problema envolvendo a própria “desintoxicação simbólica do assunto” – ou seja, tentativas de normalizar ou

⁴ “A proposta é fazer um estudo sobre a produção tecnocientífica sobre a toxicidade existente na foz do rio Doce, em um encontro de rio e Oceano, mais amiúde a produção pós-crime-desastre decorrente da liquefação da barragem de Fundão, situada em subdistrito do município de Mariana, MG, na época sob (ir)responsabilidade da Samarco SA e suas parceiras, BHP Billiton e Vale SA. Como o crime-desastre ocorreu em 2015, existe produção publicada em periódicos acadêmicos, sobre a qual pretendo me debruçar a partir de preocupações surgidas em diálogo com estudos ambientais, estudos sociais em ciência e tecnologia, e preocupações dos próprios afetados pelo crime-desastre.” (texto extraído do projeto de pesquisa de pós-doutorado de Eliana Creado).

atenuar os efeitos de algo que permanece vivo no território (Creado e Helmreich, 2018; Silva, 2018).

É nesse ponto que a interseção entre antropologia da ciência, estudos socioambientais, microbiologia e ecotoxicologia mostra sua relevância, ainda que marcada por limites disciplinares e pelas dificuldades inerentes “às próprias características dos agenciamentos conjuntos de metais, águas, sedimentos e organismos” (Creado, 2022, p. 163). Em minha pesquisa, tenho procurado dar atenção a esses emaranhados: entre águas e solos, ciência e política, laboratórios e organismos⁵. Mais do que buscar soluções técnicas ou respostas institucionais, interessa-me compreender o que a contaminação faz – como ela reorganiza mundos, materialidades e modos de viver.

A presente pesquisa, inicialmente desenvolvida junto a um laboratório de ecotoxicologia da UFMG, passou por um redirecionamento em função de mudanças logísticas de moradia que ocorreram em determinado estágio do trabalho. Esse deslocamento implicou a transição do laboratório de análises de água, em Belo Horizonte, para a Universidade Federal de Lavras, que abriga um dos maiores laboratórios de solos do Brasil. A mudança representou também um deslocamento de departamentos, das Ciências Biológicas para as Ciências Agrárias. Ainda assim, os interesses centrais da investigação permaneceram: compreender a toxicidade, os rejeitos da mineração e os processos regenerativos das paisagens.

A mudança de abordagem da água para o solo não foi necessariamente uma novidade para mim, pois o solo esteve fortemente presente na minha pesquisa de doutorado, realizada entre 2015 e 2020 (Souza, 2020a), bem como em trabalhos subsequentes (Souza, 2020b, 2022, 2024). Em trabalhos anteriores, o solo se impôs etnograficamente por meio das práticas e sensibilidades de coletivos de permacultores/as e suas redes, com os quais aprendi a pensar em termos de práticas de regeneração, as quais eram enredadas a partir de interações ecológicas interespecies.

⁵ Para isso, me inspirei na abordagem dos Estudos da Ciência e Tecnologia, mais propriamente da Teoria do Ator-Rede (cf. Latour, Woolgar, 1997; Latour, 2000; Duarte, Galindo, 2019), mas procurei atentar às questões levantadas por Susan Leigh Star que questiona o fato de a ecologia aparecer como um “pano de fundo” sobre o qual a tecnociência se desenvolve no âmbito desses estudos. Questionando esse modelo, o solo possivelmente entraria apenas como um campo de extensão da rede – em vez de obrigar outras relações. Puig de la Bellacasa (2014) sugere que a análise das redes ecológicas seja uma forma de imaginar redes sem vazios. Para isso, talvez fosse preciso recuperar um sentido de rede de sua afiliação descontínua para uma análise ecológica (redes sem vazios).

Ecologias ameaçadas, sejam do solos ou das águas, levantam na sociedade preocupações relativas ao futuro. Isso leva cientistas e outros profissionais a desenvolverem e praticarem formas de “cuidado”. Contudo, grande parte desses chamados para aprofundar nosso entendimento sobre o solo surge das bordas da ciência: com o ativismo ambiental, a agricultura orgânica e das relações dos povos indígenas com a terra. (cf. Lyon, 2014, 2020) – relações que reconhecem sua vivacidade, mesmo após séculos de imposição da agricultura hegemônica.

Um ponto de interseção entre os aprendizados do doutorado, desenvolvidos junto a cuidadores do solo (permacultores/as), e a problemática da contaminação dos solos por rejeitos de mineração — paisagens aqui em contraste — diz respeito à orientação temporal dos processos orgânicos em relação aos modos tecnocientíficos, uma questão amplamente discutida por Maria Puig de la Bellacasa e também evidenciada em minha tese (Souza, 2020). Assim como as águas, ainda que de forma distinta, os solos respondem aos elementos da contaminação, promovem processos regenerativos em intra-ação⁶ (Barad, 2017) com a materiais, elementos e organismos, se transformando em respostas aos agenciamentos – ou, em respostas às “intra-ações agenciais de múltiplos dispositivos de produção corpórea” (idem, p. 22)

Diante desse percurso – e com base na metafísica performativa de Barad (2017) que entende a agência dos não humanos não como atributos inerentes, mas como contínuo reconfigurar do mundo – a proposta deste artigo é explorar as relações entre a toxicidade por rejeitos de mineração e os solos, compreendendo-os não apenas como substrato, mas como materialidades ativas que respondem, transformam e são transformadas. Ao articular ciência, política e ecologia, proponho olhar para a toxicidade como agente de transformação que reconfigura relações, materialidades e sentidos de cuidado nas paisagens afetadas. Na próxima seção, faço uma breve incursão pelas ciências do solo, já que os laboratórios voltados às análises ecotoxicológicas se tornaram um ponto central de observação desta pesquisa. Em seguida, apresento alguns dos efeitos produzidos pelo diálogo com cientistas do solo e com as próprias materialidades, destacando como eles influenciam o modo de pensar a contaminação e os emaranhados que se formam entre práticas laboratoriais, substâncias e mundos mais-que-humanos.

⁶ “Intra-ações agenciais são operações causais materiais específicas que podem ou não envolver ‘humanos’” (Barad, 2017 p. 22).

2. Histórias do solo

A ciência do solo é, em muitos sentidos, uma disciplina peculiar. Sua formação não se deu como um campo disciplinar coeso desde o início, mas a partir de fragmentos de outras ciências que olhavam para aspectos relacionados ao solo sem, contudo, tomá-lo como objeto central. Esse campo emerge, assim, como uma “ciência residual” (Puig de la Bellacasa, 2014), e se consolida hoje como um campo transdisciplinar.

A condição híbrida dessa área das ciências foi marcada já em seus debates fundacionais. Em 1958, o então presidente da Sociedade Britânica de Ciência do Solo questionava: “haveria de fato uma disciplina chamada ciência do solo ou apenas uma mistura de ciências aplicadas ao estudo dos solos?” (Williamson, 1959 *apud* Bellacasa, 2017, p. 30). A provocação revela um campo em busca de identidade, ao mesmo tempo dependente de técnicas de outras áreas e empenhado em produzir conhecimento a partir das especificidades do solo como objeto empírico. A partir de uma genealogia desse campo dentro das ciências naturais, Puig de la Bellacasa (2014) apresenta o solo como um “objeto fronteiro” (*boundary object*), isto é, um ponto de encontro entre saberes científicos diversos, mas também entre práticas leigas, ecológicas e comunitárias.

A história das ciências do solo pode ser organizada, segundo Bouma e Hartemink (2002), em três ondas: i) A onda da produção (1945–1970), marcada pelo pós-guerra e pelo foco em segurança alimentar, quando a ciência do solo se vinculou fortemente à nutrição de plantas e à indústria agrícola; ii) A onda ambiental (1970–1980), em que a preocupação com os impactos dos agroquímicos e com a poluição levou à necessidade de mitigar danos; e iii) a fase pós-moderna (a partir dos anos 1980), em que o campo se reorganiza de forma interdisciplinar e em rede, incluindo cidadãos, ONGs e formuladores de políticas na produção do conhecimento. Essa última etapa redefiniu o papel da ciência do solo, menos como fornecedora linear de soluções e mais como espaço de aprendizado coletivo. Entretanto, como lembra Puig de la Bellacasa (2014), essa abertura também esteve imbricada na lógica do capitalismo global e da “terceira missão” universitária, frequentemente traduzida como abertura ao mercado.

Dessas fases, conforme descrito, emerge uma concepção inovadora que abre possibilidades de diálogo com os desafios colocados pelo Antropoceno, Capitaloceno, entre outras nomeações (cf. Haraway, 2015): o solo deixa de ser visto como inerte,

receptáculo de culturas, para ser reconhecido como entidade viva, capaz de impor limites ao desenvolvimento das sociedades humanas. Embora ainda marginal, essa perspectiva aponta para uma redefinição do solo, não mais entendido apenas como recurso, mas como infraestrutura vital e relacional, concepção fundamental para reposicionamentos nos modos das relações entre humanos e não humanos.

A ciência do solo tem sido impulsionada a promover uma mudança no modo de definir e entender os solos, o que vem levando nas últimas década a transformações significativas no escopo e direcionamento das pesquisas, outrora voltadas para a indústria agrícola e agora mais interessadas a oferecer respostas para um mundo em mudança⁷. O que procuro discutir com isso não é a ciência em si, mas as viradas dentro desse campo – do apoio às demandas da indústria alimentícia e intensificação da produção vem ampliando seu reconhecimento na importância do solo como uma entidade viva.

O deslocamento de um solo inerte para um solo vivo não é apenas epistemológico, mas também ético e afetivo. Puig de la Bellacasa (2014, 2017, 2019) se refere a isso enquanto novos modos de envolvimento afetivos com os trabalhadores invisíveis do solo⁸: microrganismos, fungos, minhocas, bactérias e tantas outras formas de vida que metabolizam resíduos, processam nutrientes e sustentam a fertilidade terrestre. Esses organismos emergem nas práticas de cuidadores do solo e nas pesquisas científicas não apenas como prestando serviços ou enquanto objetos inertes, mas como participantes ativos de uma ecologia subterrânea.

Pensando com Puig de la Bellacasa, é nesse sentido que os solos se tornam objeto de preocupação e cuidado: não apenas pelo que fornecem aos humanos, mas por sustentarem comunidades em um sentido mais amplo. Comunidades humanas dependem de solos saudáveis para seu alimento e para a continuidade de seus modos de vida, mas

⁷ Um exemplo emblemático foi a Conferência Internacional de Ciência do Solo realizada em Wageningen, em 2011, sob o título “Ciência do Solo em um Mundo em Mudança”. Nela, o solo foi colocado no centro de discussões interdisciplinares. Curiosamente, uma das palestrantes convidadas foi Vandana Shiva, ativista ecofeminista e autora de *Soil Not Oil* (2008), como lembra Puig de la Bellacasa (2014).

⁸ São muitos os coletivos, grupo e indivíduos que se voltam cada vez mais a compreender o solo a partir de descobertas apaixonadas. Além dos aprendizados extraídos com permacultores/as – para os quais o solo é o objetivo final de seus sistemas de habitações integrados, também é possível falar de uma dimensão afetiva entre cientistas (cf. Hustak e Myers, 2012). Bellacasa cita o pedólogo Francis D. Hole que, além do trabalho como cientista do solo, é conhecido por compor canções sobre o solo e levar essa mensagem afetuosa para as pessoas, como mostra o vídeo “Francis D. Hole with school children teaching about soils” disponível no link. <https://www.youtube.com/watch?v=xDdJAKFloFs>

também dependem da comunidade microbiana, das plantas, raízes e fungos que compõem sua vitalidade. O próprio conceito de “biota” passou a integrar, mais recentemente, a definição de solo⁹. Assim, embora ainda sejam tratados como recurso de extração de valor para o consumo humano e como uma fronteira recalcitrante para a investigação científica, os solos vêm sendo cada vez mais reconhecidos como mundos vivos ameaçados, que exigem cuidados ecológicos urgentes.

Nesse sentido, pensar as ciências do solo através das reflexões trazidas por Puig de la Bellacasa, implica deslocar a questão da técnica para a política: o solo é um campo de disputas entre modos de ver, medir, classificar e também de cuidar. Mais do que um recurso a ser explorado, ele é uma infraestrutura viva que nos devolve, em forma de alimento, de saúde – mas também de ameaças – a qualidade das relações que estabelecemos com a Terra.

Entre os levantamentos realizados com os/as cientistas do solo da UFLA, minha “curiosidade” foi especialmente despertada pelo encontro com o Departamento de Ciência do Solo, através do professor Dr. Marco Aurélio Carbone¹⁰, cuja trajetória se dedica ao estudo dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA), reconhecidos como agentes centrais no processo de recuperação das condições físicas de solos contaminados por rejeitos. Nesse contexto que me vi diante do universo dos fungos micorrízicos e da complexidade de suas redes miceliais na gestão tecnocientífica do meio ambiente e passei a me perguntar: como pensar com os fungos pode enriquecer nossas pesquisas nas humanidades, especialmente aquelas que se dedicam às ecologias de distúrbio? A partir desse contato com a ciência do solo, e mais especificamente com o Laboratório de Microbiologia, apresento na próxima seção alguns resultados das observações, diálogos e entrevistas realizadas junto aos cientistas do solo e às demais coletividades — humanas e não humanas — às quais tenho sido apresentada.

3. Histórias de laboratório

⁹ Em sua investigação junto a cientistas do solo, Puig de la Bellacasa observa que uma das tensões centrais no campo da Ciência do Solo hoje gira em torno do desafio de aumentar o rendimento agrícola ao mesmo tempo em que se busca promover o seu cuidado sustentável. Tal tensão revela uma inclinação crescente de preocupações e interesses que não se limitam ao abastecimento e à produção, mas passam também a incluir a saúde e o cuidado do solo.

¹⁰ Acesso ao currículo lattes do professor pelo link: <http://lattes.cnpq.br/4868736525994145>

O professor Dr. Marco Aurélio me explica como os FMA possuem um papel fundamental nos processos de regeneração dos solos contaminados por rejeitos: eles ajudam a melhorar as condições físicas do solo, estabelecem redes de simbiose com plantas e reconstróem a vitalidade subterrânea.

Entre idas e vindas ao laboratório, geralmente mediadas pelo professor, fui sendo envolvida por aquele ambiente de intensa atividade de pesquisas e aulas intercaladas. O professor Marco Aurélio havia me avisado por mensagem: “o laboratório está recebendo muito material, venha a partir de segunda-feira”. E quando cheguei, de fato, encontrei toda a equipe peneirando solos que haviam acabado de chegar do Rio Grande do Sul, trazido de uma longa viagem de caminhonete. Não é possível entrar no laboratório de microbiologia do solo sem estranhar o tratamento conferido ao solo. Aquilo que, de fora, chamamos simplesmente de “um punhado de terra”, ali ganha estatuto de amostra científica.

Meus interlocutores, Arthur e Vinícius, pesquisadores da pós-graduação em Ciência do Solo na UFLA, explicavam com entusiasmo suas pesquisas. Arthur estuda solos nativos dos pampas, onde o gado convive com capins nativos de maneira que, segundo ele, favorece a vegetação e o próprio solo. Vinícius, por sua vez, pesquisa áreas manejadas, para entender o que muda no solo quando ele deixa de ser “nativo”. Diante de amostras de solos de outra região e sob outras questões, indaguei se acompanhar as análises dos solos dos pampas poderia ser útil para minha pesquisa. Nesse momento, percebi que embora meu foco fosse Mariana, os métodos de análise não mudavam tanto: “são basicamente os mesmos”, disseram, “o que muda são as respostas, porque os solos são diferentes”. E de fato, quase toda a equipe já havia trabalhado com o caso de Mariana. “Esse laboratório aqui é o que mais produziu sobre Mariana no planeta Terra!”, destacou Arthur a fim de mostrar o empenho dos/as pesquisadores/as daquele laboratório em relação às análises relacionadas ao desastre.

As conversas se misturavam com lembranças envolvendo aquele período. “Na época de Mariana [2015 adiante], quase todas as teses e dissertações daqui foram sobre isso. Tinha muito financiamento e muitas perguntas”, contou um dos colegas. Aline, pós-doutoranda, também se especializou no tema e me passou dezenas de referências – inclusive uma série de artigos sobre etnopedologia, o que me fez refletir: “será que, para

ela, uma investigação antropológica sobre o solo só poderia se ocupar de questões ligadas aos conhecimentos tradicionais?”

Vinícius, um dos cientistas do solo que acompanhava minhas visitas, explicava que o ponto de partida para a identificação e as análises são as classificações oficiais dos solos no Brasil. Elas informam o tipo de solo, sua rocha de origem, os processos de formação, os nutrientes esperados. A análise química vem então quantificar: “a partir do momento que fez a análise do rejeito, você sabe exatamente o que é estranho e o que não é”, como me disse Arthur.

Aproveitando a discussão, Arthur se posiciona com desabafo sobre a fragmentação do conhecimento. Para ele, a especialização excessiva das ciências, e o diálogo difícil com as humanidades, acabam simplificando de forma equivocada processos complexos. Arthur citou como exemplo os discursos sobre impacto ambiental dos rejeitos: “*Vai demorar 100 anos pra recuperar*, dizem os ambientalistas...”, e completa, “não estão errados, mas nesse meio tempo, a área também estará revegetada. Hoje em dia, visualmente, você já não identifica mais onde foi, onde não foi. Já tem muita planta ciclando, atividade biológica acontecendo ali.”

Esse ponto trazido por Arthur é interessante porque desloca a questão do impacto: não se trata de negar a gravidade do crime, mas de pensar os agenciamentos não humanos em curso. O IBAMA já apontava, quatro anos após o rompimento, que as áreas de deposição estavam revegetadas com espécies exóticas e nativas – tanto pela ação emergencial de plantio, quanto pela regeneração natural. Os cientistas do solo refinam essa discussão com uma terminologia própria que pode ser útil aqui. *Recuperação*, entendida como restabelecimento ambiental; *reabilitação* como processo de conduzir a área degradada a um estado biológico adequado; e *restauração*, envolve o retorno às condições originais, processo muito mais longo e espontâneo.

Aprendi com os cientistas do solo algo novo sobre o modo como geralmente relacionamos a toxicidade a desequilíbrio químico. Os solos impactados por rejeitos de mineração, de acordo com os estudos realizados, vem apresentando toxicidade variável, podendo, inclusive, apresentar nas áreas revegetadas baixos níveis de toxicidade, mesmo nos pontos de maior deposição de rejeitos (Reis et al, 2025). A depender da espécie bioindicadora e das características do solo, a definição de toxicidade pode alterar.

O processo de revegetação desencadeado nas áreas afetadas tem melhorado não apenas a estrutura do solo como reduzido a presença de metais. As análises mostram que a toxicidade, nesse caso, não depende apenas da presença ou não de rejeitos, mas seus níveis variam de acordo com a interação com outros contaminantes químicos (como pesticidas utilizados nas lavouras, por exemplo). A sinergia dos rejeitos com outros contaminantes intensifica a toxicidade de forma significativa. Isso ocorre por que os rejeitos alteram a textura, a drenagem e o teor de matéria orgânica do solo, fatores que aumentam a mobilidade e a biodisponibilidade de pesticidas, tornando-o mais facilmente absorvido pelos organismos do solo¹¹. Em outras palavras, a contaminação química do solo exige considerar a combinação a outros contaminantes, somada a características físicas e químicas do solo.

Os rejeitos em contato com o solos, menos do que apresentar risco de toxicidade, produziu o que os cientistas chamam de tecnossolo: a transformação física do solo, isto é, quando o solo natural passa a ser compreendido em seu novo status, marcado por modificações profundas decorrentes da intervenção humana. Nesse ponto, comecei a compreender o caso Mariana como um debate para além da toxicidade pela via da química dos solos, para considerar a formação de tecnossolos – reflexão cujo aprofundamento ainda encontra-se em andamento em minha pesquisa. Como explicou Arthur, “você não distingue mais o que era o solo de Mariana antes e o que é rejeito. Já é uma coisa só”.

A pesquisadora Joana Carneiro (2020), que estudou o caso Mariana em profundidade, descreve o tecnossolo em formação na camada superficial: alta densidade, teores de areia e silte elevados e praticamente nenhuma matéria orgânica. Isso compromete a estrutura, a infiltração de água, a aeração e, sobretudo, o crescimento das raízes, que passam a colonizar apenas camadas superficiais. Além disso, há o endurecimento no período seco e o escoamento superficial no período chuvoso, que gera erosão. Meus interlocutores ressaltavam: não se trata de solos manejados historicamente, como os antropossolos – exemplo clássico é a “terra preta de índio” na Amazônia ou os sambaquis no Espírito Santo, modificados por práticas humanas e enriquecidos com

¹¹ Estudo realizado por Reis et al (20025) mostra que a presença de rejeitos de mineração por si só não garante alta toxicidade no solo, especialmente em áreas que passaram por revegetação ou que possuem baixos teores de elementos potencialmente tóxicos (PTEs). Ou seja, o solo impactado por rejeitos, mas sem pesticidas, apresentou toxicidade relativamente baixa para a fauna do solo.

matéria orgânica – esses solos têm origem em histórias de cuidado. Os tecnossolos são fruto de acidente, catástrofe, desastre. Como disseram: “tecnossolos vêm de acidentes”.

Nesse momento, pensando com Barad (2017, p. 21) – “fronteiras não para quietas” –, percebi uma diferença de percepção entre cientistas naturais e as humanidades. Perguntei para meus colegas de laboratório: “Então não há contaminação do solo?”.

Arthur, em nossas conversas no laboratório quando lhe dirigia minhas inquietações, se mostrava incomodado: “Vocês batem no ponto errado, tem problema maior para se bater”. Ele queria me mostrar que o problema central não era a presença de metais pesados, ainda que houvesse manganês em níveis três vezes maiores que os originais: “o maior problema não foi químico, foi físico. Porque o rejeito secou e virou uma placa dura, como um tijolão de metros de profundidade. Para revegetar isso foi muito difícil. Para as raízes crescerem ali foi muito difícil”, ele me dizia.

Essa constatação muda a perspectiva: não se trata de negar a contaminação química, mas de destacar que o desafio maior é entender a complexidade das interações entre o ambiente, contaminantes e organismos, e em transformar esse conhecimento em práticas de prevenção e recuperação mais eficazes. A alteração da estrutura física do solo, como o alto teor de silte, partícula dominante no rejeito, também chamada de “partícula claustrofóbica”, não deixa entrar ar, sufoca o solo. Essa condição gera outro efeito: solos impactados podem até apresentar baixa toxicidade intrínseca, mas tornam-se mais vulneráveis a interações com pesticidas e agroquímicos.

O artigo recente de Tamires Reis et al. (2025) evidencia como rejeitos, em interação com pesticidas, amplificam efeitos adversos, especialmente em solos arenosos, revelando sinergias inesperadas e perigosas. O tecnossolo não é simplesmente um solo degradado ou “morto”; ele constitui uma nova ecologia, instável e vulnerável, cujas relações com organismos, microrganismos, água e substâncias químicas se reconfiguram continuamente. Reconhecê-lo dessa forma nos convida a enfrentar desafios que vão além do técnico, envolvendo dimensões políticas, éticas e socioambientais: como compreender e analisar os papéis das materialidades vivas e dos agenciamentos humanos e não-humanos diante dos desafios que os tecnossolos apresentam?

No ponto de vista da ciência do solo, quando uma barragem de rejeitos de minério se rompe, é o solo quem primeiro sofre o impacto. O que antes respirava, decompunha, estruturava e nutria, torna-se silêncio, explica um dos pesquisadores que entrevistei,

“tirando toda a questão antrópica de mortes, das perdas de casa, o mais afetado é o microrganismo”, ele dizia. É quando os fungos micorrízicos arbusculares foram chamamos para essa conversa.

3.1. História dos fungos

Diante da minha insistência sobre o problema dos metais pesados, Arthur dizia: “A questão dos metais pesados, o fungo resolve”¹². Segundo me explicava, o fungo libera substâncias que se ligam fortemente a xenobióticos, formando moléculas estáveis que deixam de estar disponíveis no ambiente. É um processo chamado de complexação. “A substância não deixa de estar lá, mas já não está disponível”. Esses fungos não são apenas aliados biotecnológicos; eles são engenheiros subterrâneos. Evoluíram ao longo de milhões de anos em simbiose com plantas, sustentando 80% das espécies conhecidas. Eles ampliam a absorção de nutrientes, produzem glicoproteínas como a glomalina, que estabiliza agregados do solo, e sequestram elementos tóxicos. Carneiro (2020) mostra que eles aumentam a produtividade vegetal em até 85%, melhoram a tolerância a estresse hídrico e à presença de metais pesados e aceleram a revegetação. Em outras palavras: eles criam as condições de possibilidade para que o solo volte a respirar.

“Os ecossistemas perturbados possuem naturalmente capacidade de regeneração natural”, afirma Carneiro (2020, p. 20) em sua tese sobre a ação dos FMA no processo de restauração ecológica. É com o entendimento de que os ecossistemas respondem, mesmo em situações extremas, ainda que nem sempre se trate de respostas desejáveis ou em conformidade com o temporalidade humana, é que a ciência do solo foi acionada com certa primazia em relação a outras ciências naturais, pois tudo começa com a microbiota – essencial, sobretudo para a revegetação que é o objetivo da restauração ecológica.

A partir da microbiota, a revegetação pode acontecer: primeiro como lenta acumulação de folhas e serrapilheira trazidas pelo vento e pelos pássaros; depois, como reorganização das comunidades invisíveis que metabolizam carbono e criam as condições para o retorno das plantas. O tempo de regeneração, contam os/as pesquisadores/as, é o tempo do carbono: sem alimento, não há microrganismo; sem microrganismo, não há

¹² Sheldrake (2020) mostra que é a “capacidade das hifas de interpretar emissões químicas de outros seres que permite aos fungos negociar uma série de trocas complexas com as árvores; misturar as reservas de nutrientes do solo; fazer sexo; caçar; ou afastar predadores.” (p. 51)

retorno da vida. A microbiota cria as condições para outros organismos, incluindo os vegetais. A vida no solo, quando adentramos os recintos da ciência do solo, pode ser medida e avaliada, procedimento realizado com instrumentos de pesquisa capazes de medir quanto o solo respira. Essas imagens me levavam não apenas a pensar a ciência e a antropologia nesse universo de práticas e relações multiespécies, como exigiam que cientistas do solo e as materialidades mais que humanas fossem levados a sério.

Entre as visitas realizadas ao Laboratório de Microbiologia da UFLA, acompanhei algumas atividades que aconteciam por lá não apenas como pesquisadora, mas como uma participante interessada. Em uma das ocasiões, estudantes realizavam a análise da atividade microbiana através da “incubação” (potes de vidro contendo pequenas porções de solo em condições controladas de temperatura, umidade e luz para observar mudanças relativas às atividades microbianas). Foram mais de 100 pots preparados para essa análise, que buscava medir a respiração microbiana por meio da reação com NaOH. Ali percebi a força dessa imagem: medir a atividade metabólica é, literalmente, medir o fôlego do solo. Para os cientistas, os números quantificam; na experiência etnográfica, me deparava com a força dos agenciamentos materiais, humanos e não humanos. A respiração, registrada e visualizada através da reação química, dá corpo à abstração, que deixa de ser apenas teoria ou metáfora: a paisagem se recompõe à medida que o solo volta a respirar.



Foto 1 e 2 - Análise de solo (incubação) no Laboratório de Microbiologia do Solo da Universidade Federal de Lavras. Fotos da autora.

Na escala microscópica das hifas, vemos a restauração acontecer como gesto de mutualidade: cada raiz colonizada, cada filamento que conecta planta e fungo, reabre a possibilidade de um comum subterrâneo. Essas estruturas são capazes de muitas proezas para além de expelir esporos. Sem pretender abarcar toda a complexidade dos processos acompanhados, o objetivo deste texto foi apresentar alguns primeiros apontamentos e direções que me foram possibilitados ao observar cientistas do solo e adentrar a rizosfera. Fiquei impressionada com o envolvimento dessa comunidade de pesquisadores e pesquisadoras com os organismos que estudam, de certo modo, reconhecendo sua agência e singularidades. Como Merlim Sheldrake (2020) observa sobre a criatividade e a imaginação na pesquisa científica, perguntar o que esses fungos fazem e desenvolver maneiras de acompanhar seus comportamentos exige imaginá-los: “A imaginação faz parte da atividade cotidiana de pesquisa” (p. 29). Nesse encontro, a ciência deixa de ser apenas medição e cálculo, tornando-se também uma prática de atenção, cuidado e diálogo com as materialidades vivas que compõem o solo.

4. Considerações finais e paralelos

A “água moderna” tal como definida por Linton (2010) é dependente das estruturas industriais e tecno-científicas, trata-se de uma imagem que contrasta ao sentido de água enquanto substância vital, modo de vida de comunidades pesqueiras/ribeirinhas e morada de vidas submersas e de mundos espacial e temporalmente distintos. O tecnossolo, por sua vez, é um termo corrente no meio científico, se refere à uma alteração de solo com propriedades diferentes do solo original devido a quantidade significativa de materiais antropogênicos, como rejeitos de mineração ou resíduos urbanos e industriais. Considero paralelos no entendimento entre “água moderna” e o conceito de “tecnossolo” por apontarem como a água e a terra não são indiferentes às transformações modernas, constituindo infraestrutura própria que se refaz com os fenômenos naturais/sociais.

Se, como argumenta Linton (2010), a “água moderna” é aquela que foi abstraída de suas ecologias e relações, reduzida a um recurso, a um bem quantificável e circulável, o tecnossolo pode ser pensado como seu equivalente terrestre: um solo abstraído de sua gênese, de suas histórias e de sua vitalidade orgânica, transformado em matéria residual de processos industriais. Assim como a “água moderna” não é apenas H₂O, mas um modo

específico de conceber e governar fluxos hídricos, o tecnossolo não é apenas rejeito mineral, mas a materialização de uma forma de relação entre capitalismo extrativo e ecologias do solo. Contudo, é precisamente o mundo subterrâneo, fungos, microrganismos, rizosferas, que age para desfazer parcialmente essa homogeneização, instaurando processos de recomposição e regeneração que tensionam a própria materialidade do tecnossolo. Nesse sentido, pensando em aproximações com Ballestero (2019) acerca das águas, o tecnossolo não pode ser apreendido apenas como matéria física inerte, mas como nó de tensões entre ciência, políticas de reparação, ecologias microbianas e futuros possíveis.

Nesse trabalho, trouxe algumas reflexões iniciais, ainda em processo, que me levam a pensar o tecnossolo como a versão terrestre das “águas modernas”: um *corpo híbrido* que carrega a marca da industrialização, da gestão técnica e da homogeneização de mundos outrora plurais. Mas também, e talvez sobretudo, como um campo de disputa sobre como restaurar, regenerar e reconectar ecologias vivas. Enquanto a ciência do solo mostra que o problema central da toxicidade dos solos não é sua contaminação química, mas a destruição física e estrutural da respiração da terra, os fungos e microrganismos lembram que a vida persiste em abrir brechas, recompondo vínculos subterrâneos, nos ensinando uma “gramática da vitalidade” (Sheldrake, 2020)

Como Puig de la Bellacasa (2017) reflete acerca do lugar da ecologia nas redes sociotécnicas, talvez o impulso existencial dominante da ecologia não é tanto a expansão, mas a manutenção de relações resilientes. Pensar o tecnossolo ao lado das “águas modernas” é, portanto, reconhecer não apenas as ruínas do capitalismo mineral e hídrico, mas também a potência de imaginar formas alternativas de vida e de relações com o subterrâneo e com os fluxos, linhas e emaranhados que sustentam a vida (Ingold, 2018).

5. Referências bibliográficas

BALLESTERO, Andrea. **The Anthropology of Water**. Annual Review of Anthropology. 2019. Disponível pelo link <https://andreaballestero.com/wp-content/uploads/2019/10/ballestero-anthropologyofwater.pdf>

BOUMA, J.; HARTEMINK, A. E. Soil science and society in the Dutch context. **Wageningen Journal of Life Sciences** 50 (2): 2002. 133–40. Disponível pelo link <https://library.wur.nl/ojs/index.php/njas/article/view/391/109>

CARNEIRO, Joana J. **Fungos Micorrízicos Arbusculares Nativos na Produção de Mudanças de Espécies Arbóreas Nativas em Rejeito da Mineração de Ferro**. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. 2020. Disponível pelo link <https://repositorio.ufla.br/items/eb98b251-b23a-4070-a510-02ae3d597714>

CREADO, Eliana; HELMREICH, Stefan. Uma onda de lama: viagem de águas tóxicas de Bento Rodrigues ao Atlântico brasileiro. IN: CREADO, E.; TRIGUEIRO, A.; TORRES, C. C. A. **Vidas de Rio e de Mar: Pesca, Desenvolvimentismo e Ambientalização**. PROEX-UFES. 2018b. Disponível pelo link <https://revistas.usp.br/rieb/article/view/145632/139579>

CREADO, Eliana. S.J. **Agregados orgânicos e inorgânicos na foz do Rio Doce (e) em publicações científicas**. R@U- Revista @ntropologia da UFSCAR. 14(1). jan/jun. 2022. Disponível pelo link <https://www.rau2.ufscar.br/index.php/rau/article/view/411/357>

DUARTE, Tiago R.; GALINDO, Luis-Reyes. Apresentação. Estudos Sociais da Ciência e Tecnologia. **Revista Pós**. Número 2, Volume 14. 2019. Disponível pelo link <https://periodicos.unb.br/index.php/revistapos/article/view/26488/23164>

HARAWAY, Donna. Anthropocene, Capitalocene, Plantationocene, Chthulucene: Making Kin. **Environmental Humanities**, v. 6, p. 159-165, 2015. Disponível pelo link https://www.environmentandsociety.org/sites/default/files/key_docs/environmental_humanities-2015-haraway-159-65.pdf

HUSTAK, Carla; MYERS, Natasha. Involutionary Momentum: Affective Ecologies and the Sciences of Plant/Insect Encounters. **Differences: A Journal of Feminist Cultural Studies**, v. 25, n. 3, p. 74-118, 2012.

INGOLD, Tim. **Estar Vivo: ensaios sobre movimento, conhecimento e descrição**. Ed. Vozes. Petrópolis, RJ. 2 ed. 2018.

LATOUR, Bruno; WOOLGAR, Steve. **A vida de laboratório: a produção dos fatos científicos**. RJ: Relume Dumara, 1997.

LATOUR, Bruno. [1994]. **Jamais fomos modernos: ensaio de antropologia simétrica**. Rio de Janeiro: Editora 34. 2000

LINTON, Jamie; BUDDS, Jessica. **The hydrosocial cycle: defining and mobilizing a relational-dialectical approach to water**. *Geoforum* 57: 170-180. 2014. Disponível pelo link https://taulallobregat.org/wp-content/uploads/2024/06/Ciclohídrosocial_-Linton_Budds.pdf

LINTON, James. **What is water?** The History and Crisis of a Modern Abstraction. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of Doctor of Philosophy. Department of Geography and Environmental Studies, Carleton University. 2006.

LYONS, Kristina M. Sol Science, Development, and the "Elusive Nature" of Colombia's Amazonian Plains. **The Journal of Latin American and Caribbean Anthropology**. Vol. 19, No. 2, 2014. pp. 212-236.

_____. **Vital Decomposition**. Soil Practitioners & Life Politics. Duke University Press, 2020.

REIS, Tamires R. dos; et al. Resilience of soil fauna to pesticide contamination in areas impacted by mining tailings. **Science of the Total Environment**. 2025 (disponível pelo link <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969725021321?via%3Dihub>)

SHIVA, Vandana. **Soil Not Oil**: Environmental Justice in an Age of Climate Crisis. South end Press. Brooklyn, New York and Boston, Massachusetts, 2008. Disponível pelo link https://collapseofindustrialcivilization.com/wp-content/uploads/2014/04/wk4_shiva_soilnotoil.pdf

SILVA, Bianca de J. “A lama que rolou de cima”: alguns desdobramentos sociopolíticos e sociotécnicos sobre as águas do Rio Doce e do Oceano Atlântico após a chegada dos rejeitos de mineração da Samarco na foz do Rio Doce - ES. Dissertação de Mestrado. PGCS, Universidade Federal do Espírito Santo. 2018. Disponível pelo link <https://repositorio.ufes.br/server/api/core/bitstreams/4b85129a-625b-4215-8917-4a70bc3b83a9/content>

STENGERS, Isabelle. “**Outra ciência é possível!**” Um apelo à *Slow Science*. Cadernos do Ateliê, v. 1, n. 5, fascículo 1, 2019. Disponível pelo link <https://ateliêdehumanidades.com/2019/06/06/cadernos-do-ateliê-outra-ciencia-e-possivel-uma-apelo-a-slow-science-por-isabelle-stengers/>

PUIG DE LA BELLACASA, Maria. Ecological thinking and materialist spirituality: thinking the poetics of soil ecology with Susan Leigh Star”. In: **The Intellectual Legacies of Susan Leigh Star**. CA/Massachusetts: MIT Press, 2011.

_____. Nothing comes without its world: thinking with care. **The Sociological Review**, University of Leicester. 2012. Disponível pelo link <https://simposioestudosfeministasct.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/03/puig-de-la-bellacasa-2012-nothing-comes-without-its-world.pdf>

_____. Encountering Bioinfrastructure: Ecological Struggles and the Sciences of Soil. **Social Epistemology**: A Journal of Knowledge, Culture and Policy, v. 28, n. 1, p. 26-40, 2014. Disponível no link <https://wrap.warwick.ac.uk/id/eprint/112015/7/WRAP-encountering-bioinfrastructure-ecological-struggles-sciences-soil-Puig-2014.pdf>

_____. Making time for soil: technoscientific futurity and the pace of care. **Social Studies of Science**, v. 45, n. 5, p. 691-716, 2015

_____. **Matters of Care**. Speculative ethics in more than human worlds. London: University of Minnesota Press, 2017.

_____ et al. Introduction. No justice. No ecological Peace: The Groundings of Ecological Reparation. IN: **Ecological Reparation**: Repair, Remediation and Resurgence in Social and Environmental Conflict (pp. 1-16). (Dis-positions: Troubling Methods and Theory in STS). The Bristol University Press. 2023.

SOUZA, Gabrielly M. **Envolver o que nos envolve**. Permacultura e Sítios Ecológicos em Paisagens Multiespécies na Serra do Espinhaço. Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em Antropologia da Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Minas Gerais como um dos requisitos para a obtenção do título de Doutora em Antropologia. 2020. Disponível pelo link <https://repositorio.ufmg.br/items/d9b14ac9-3ffc-43db-a597-424c05ddd27c>

_____. Políticas de Composto. **Caderno Eletrônico de Ciências Sociais**, Vitória, v. 8, n. 2, pp. 130-152, 2020. Disponível pelo link <https://periodicos.ufes.br/cadecs/article/view/36072/23705>

_____. "É agrofloresta, não é conservacionismo". As paisagens biossociais da permacultura. **Ruris**. Campinas. SP. V. 14. N. 01. P. 107-132. 2022. Disponível pelo link <https://econtents.sbu.unicamp.br/inpec/index.php/ruris/article/view/17029/11716>

_____. Diálogos sobre Reparação Ecológica: Comparando Diferentes Escalas e Emaranhados Existenciais. **Anais 34ª Reunião Brasileira de Antropologia**. 2024. Disponível pelo link https://www.abant.org.br/files/34rba_557_18071030_451638.pdf

TSING, Anna L. **Viver nas ruínas**. Paisagens multiespécies no Antropoceno. IEB. Mil Filhas. Brasília. 2019.

_____. Paisagens antropogênicas. *PISEAGRAMA*, Belo Horizonte, edição especial Vegetalidades, p. 124-131, set. 2023. Disponível pelo link : <https://piseagrama.org/artigos/paisagens-antropogenicas/>