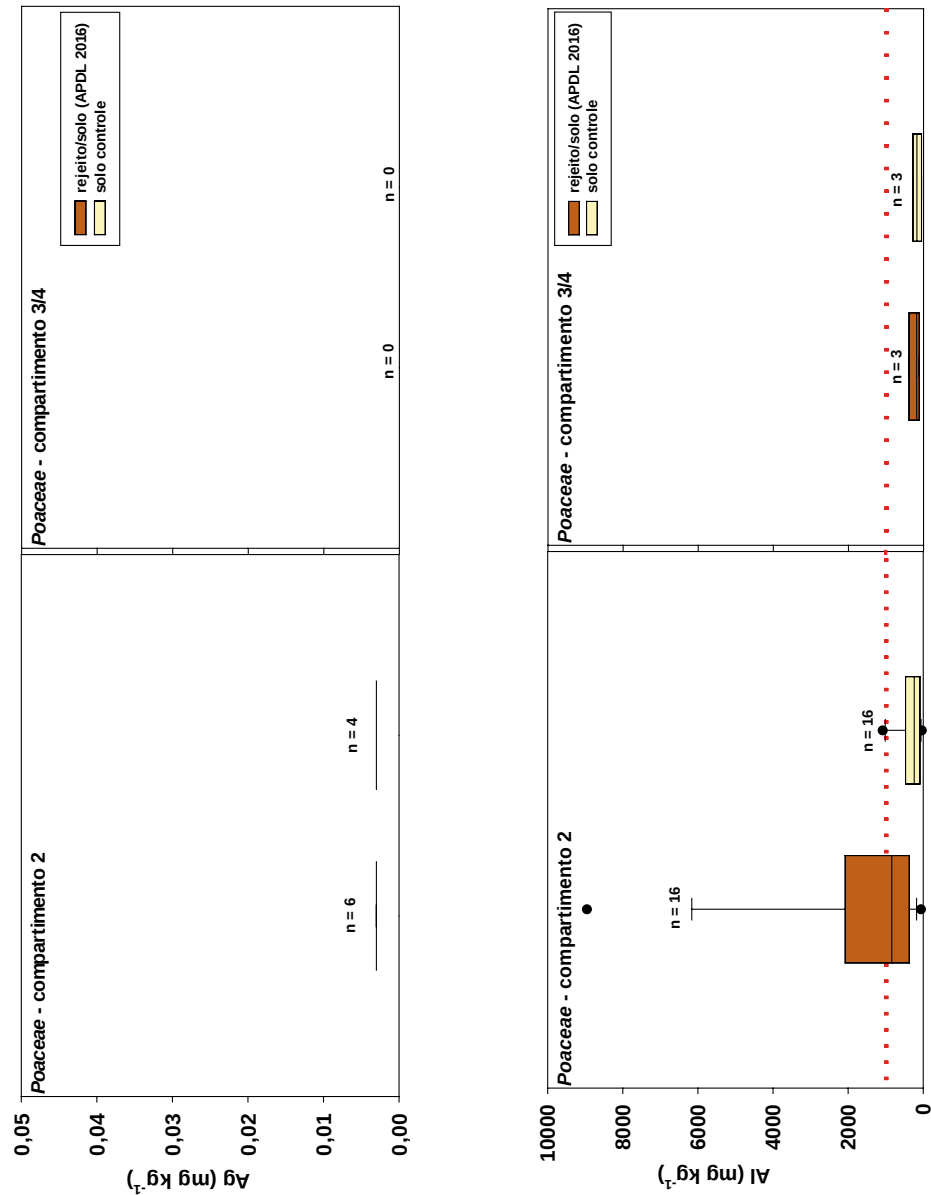
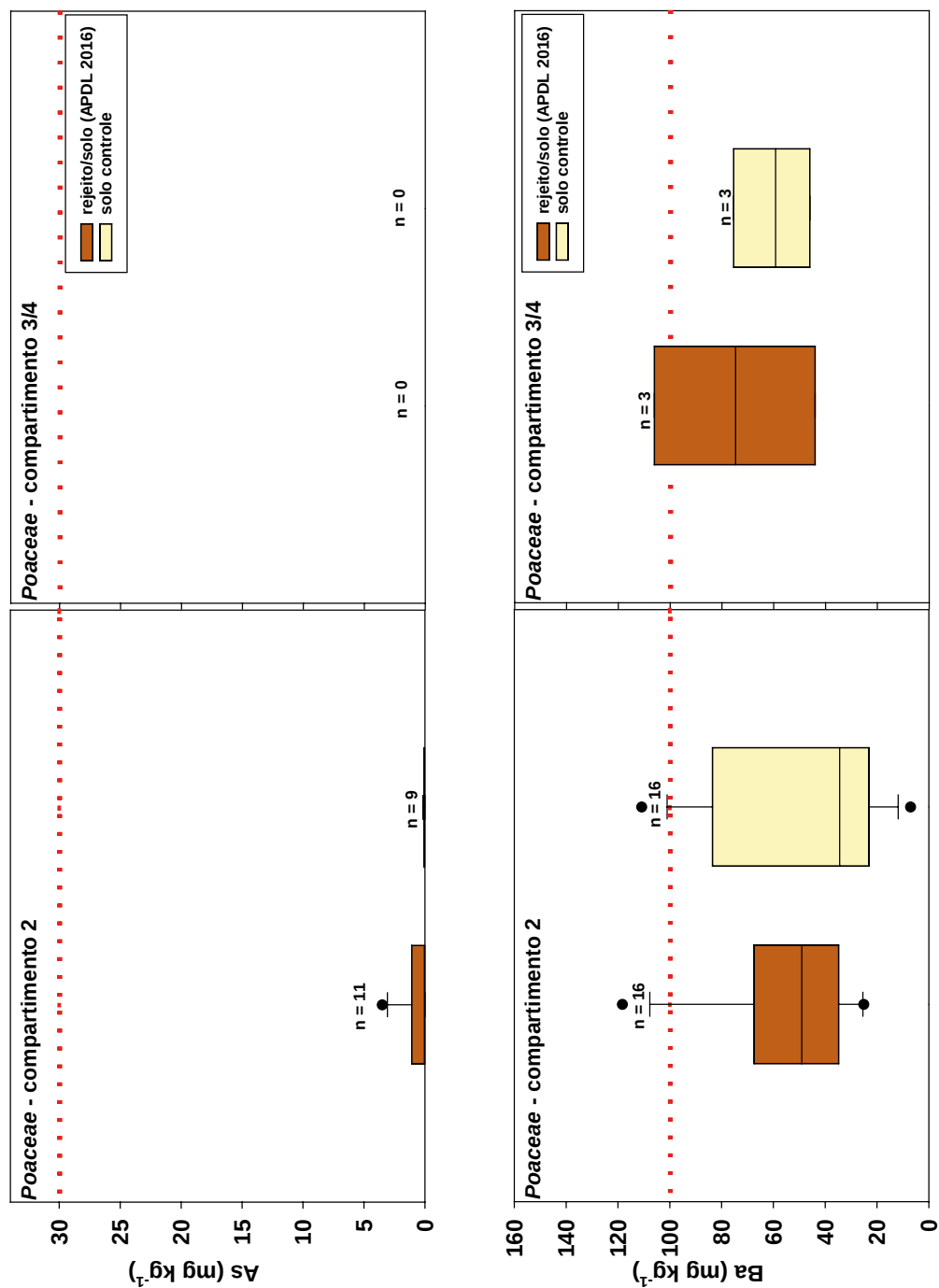


Figura 124 – Teores de prata e alumínio na biomassa aérea de pastagens (*Poaceae*) desenvolvidas em solos sob influência das manchas de inundação (APDL 2016) e sobre solos controle nos Compartimentos 2, 3 e 4.



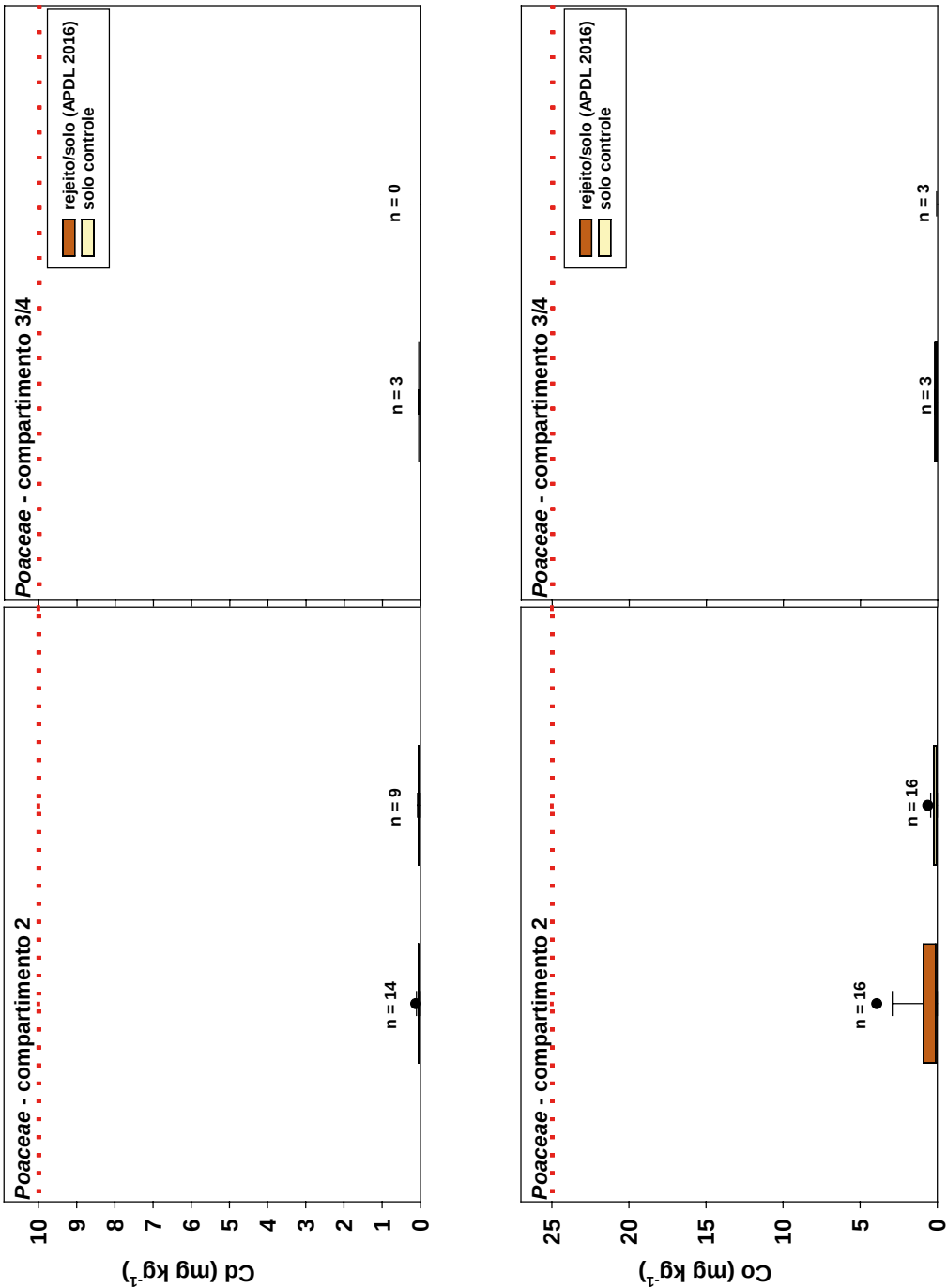
Linhas horizontais vermelhas representam os teores máximos toleráveis no pasto para alimentação de bovinos de acordo com a NRC (2005).

Figura 125 – Teores de arsênio e bário na biomassa aérea de pastagens (*Poaceae*) desenvolvidas em solos sob influência das manchas de inundação (APDL 2016) e sobre solos controle nos Compartimentos 2, 3 e 4.



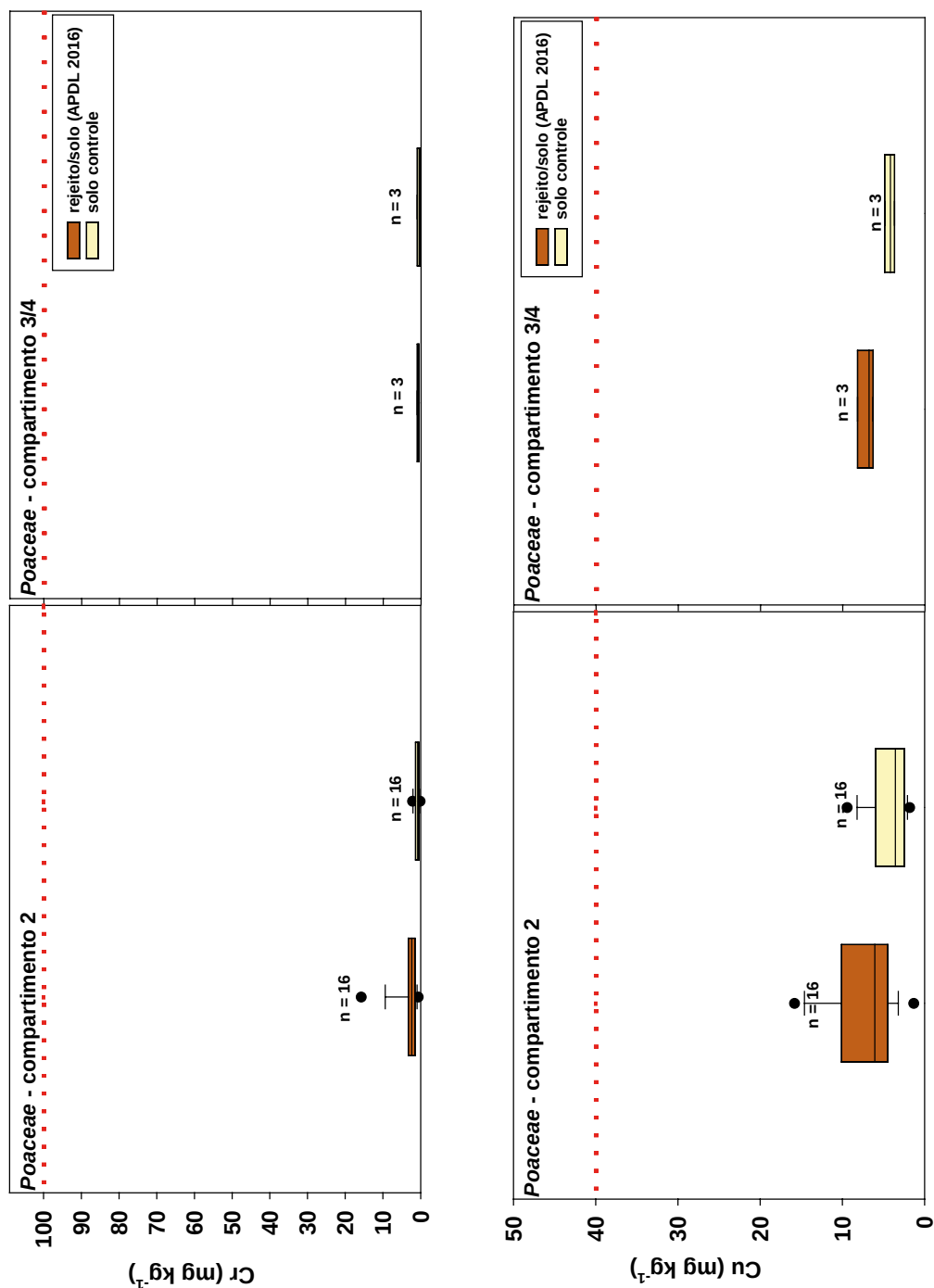
Linhas horizontais vermelhas representam os teores máximos toleráveis no pasto para alimentação de bovinos de acordo com a NRC (2005).

Figura 126 – Teores de cádmio e cobalto na biomassa aérea de pastagens (*Poaceae*) desenvolvidas em solos sob influência das manchas de inundação (APDL 2016) e sobre solos controle nos Compartimentos 2, 3 e 4.



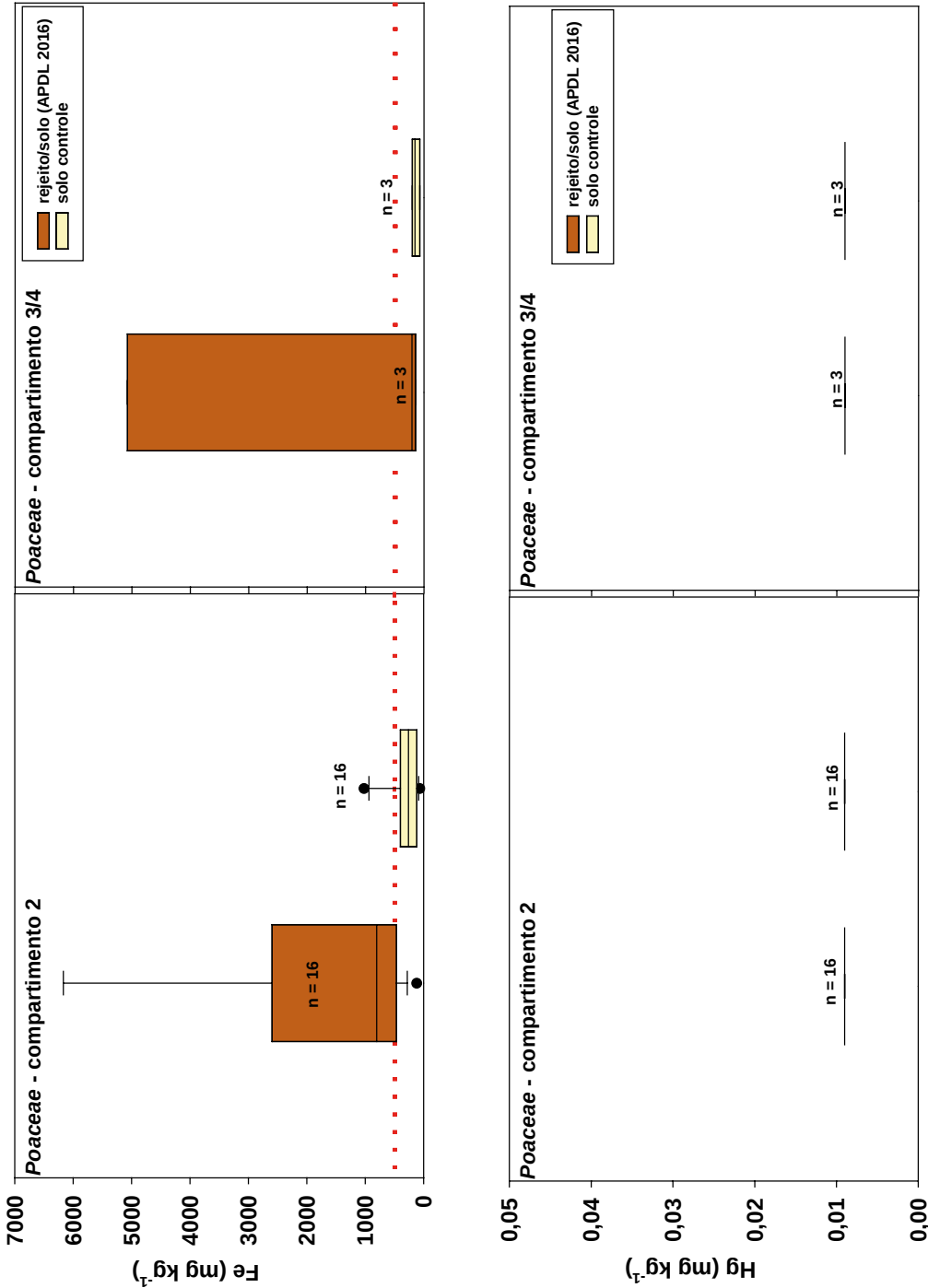
Linhas horizontais vermelhas representam os teores máximos toleráveis no pasto para alimentação de bovinos de acordo com a NRC (2005).

Figura 127 – Teores de cromo e cobre na biomassa aérea de pastagens (*Poaceae*) desenvolvidas em solos sob influência das manchas de inundação (APDL 2016) e sobre solos controle nos Compartimentos 2, 3 e 4.



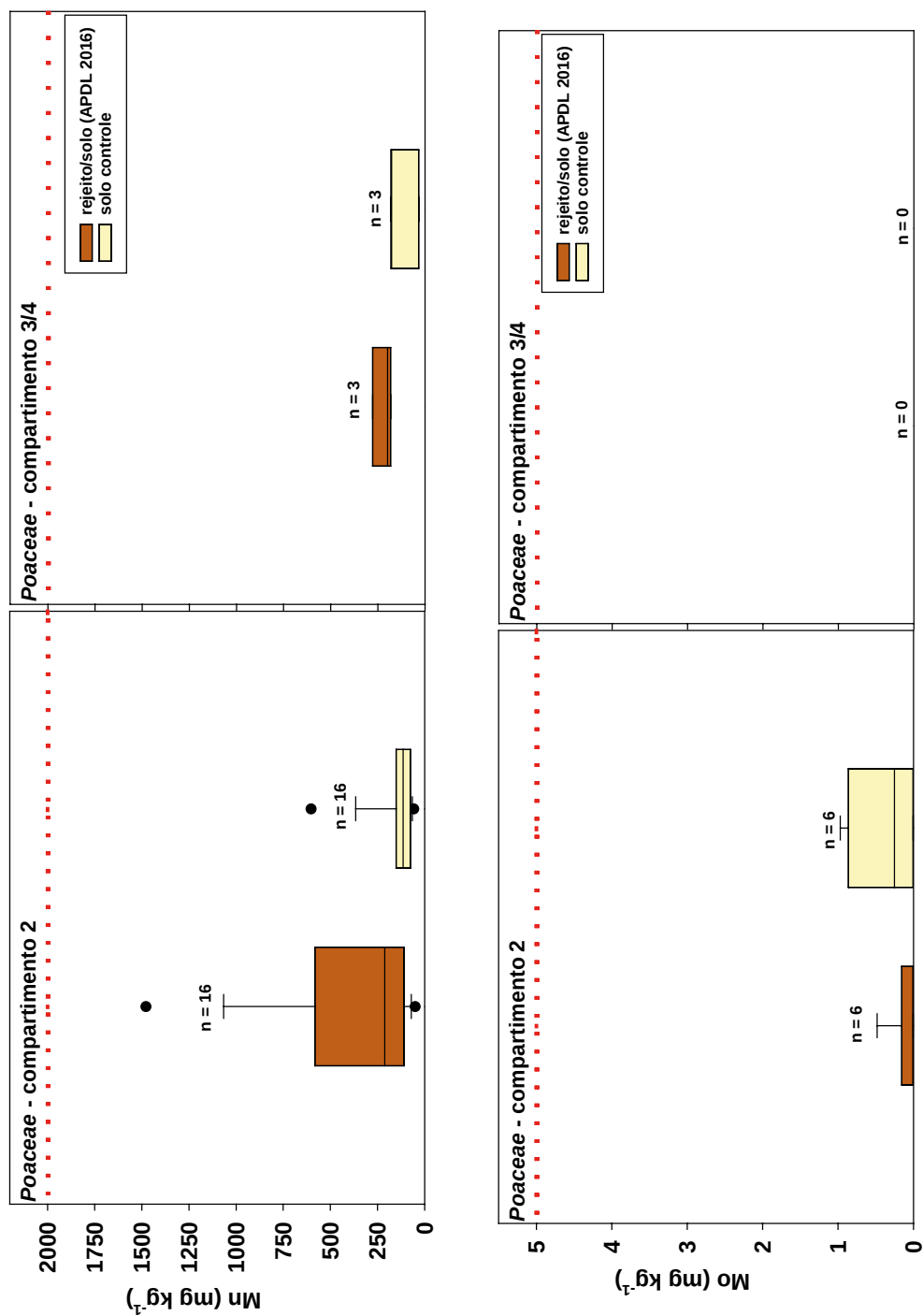
Linhas horizontais vermelhas representam os teores máximos toleráveis no pasto para alimentação de bovinos de acordo com a NRC (2005).

Figura 128 – Teores de ferro e mercúrio na biomassa aérea de pastagens (*Poaceae*) desenvolvidas em solos sob influência das manchas de inundação (APDL 2016) e sobre solos controle nos Compartimentos 2, 3 e 4.



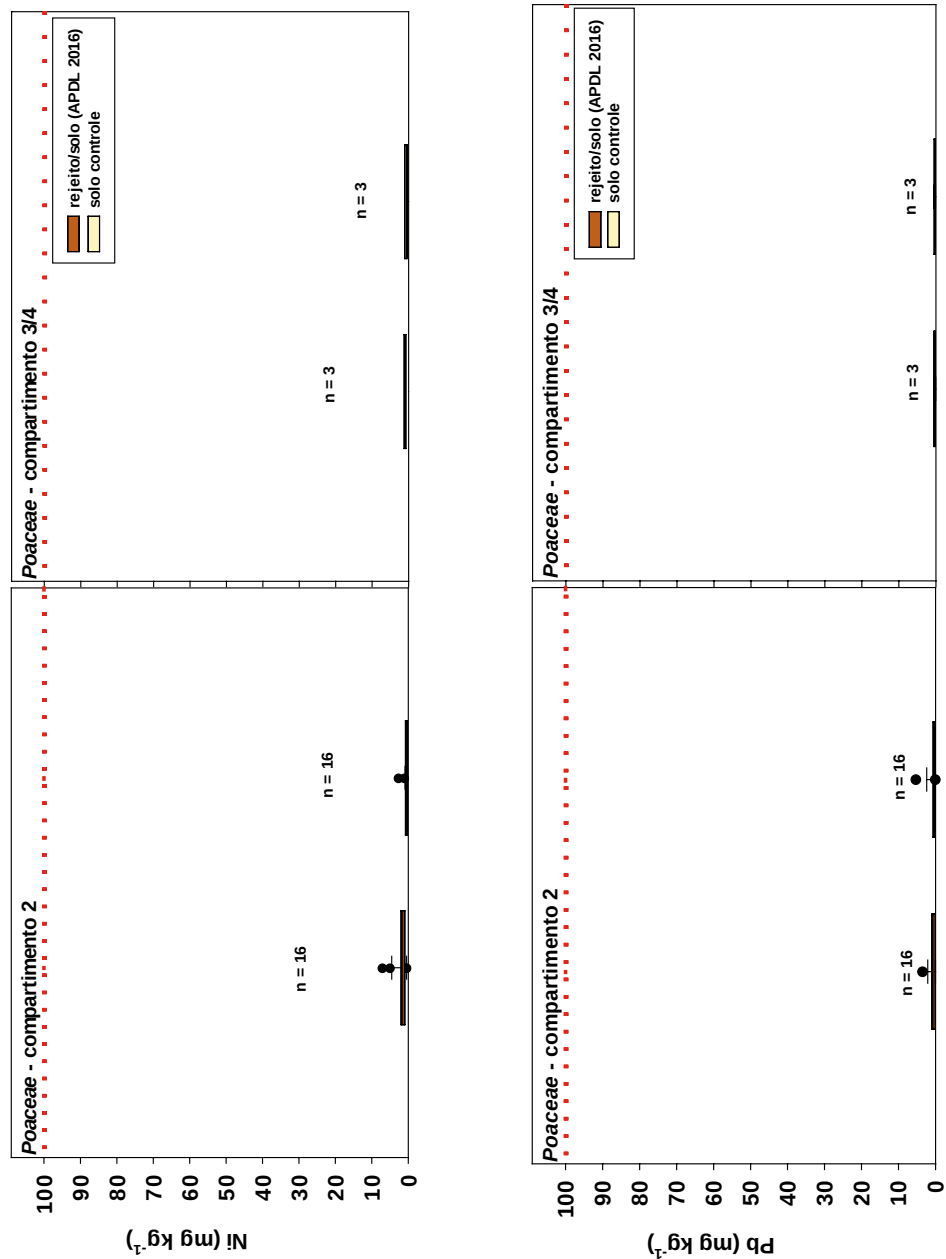
Linhas horizontais vermelhas representam os teores máximos toleráveis no pasto para alimentação de bovinos de acordo com a NRC (2005).

Figura 129 – Teores de manganês e molibdênio na biomassa aérea de pastagens (*Poaceae*) desenvolvidas em solos sob influência das manchas de inundação (APDL 2016) e sobre solos controle nos Compartimentos 2, 3 e 4.



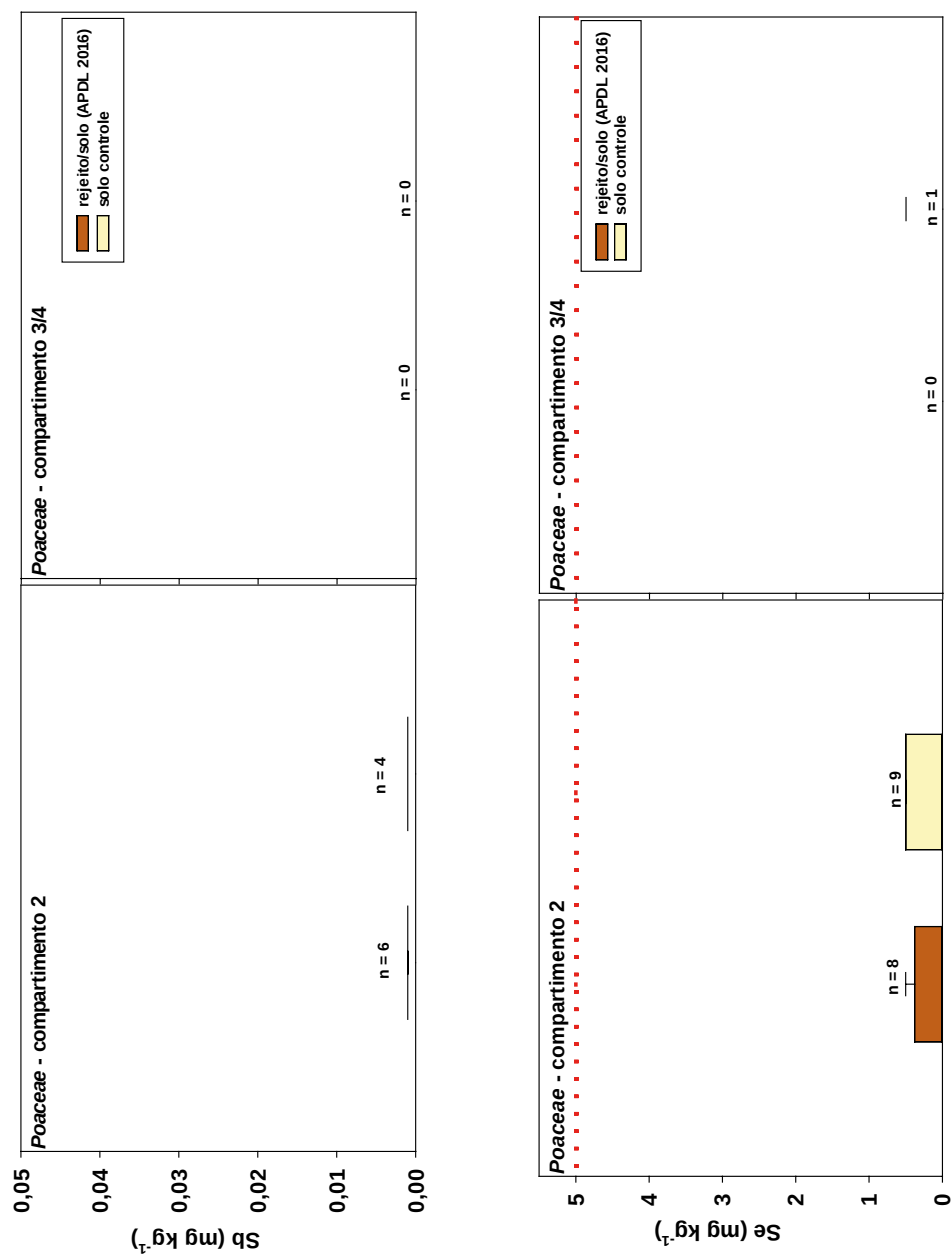
Linhas horizontais vermelhas representam os teores máximos toleráveis no pasto para alimentação de bovinos de acordo com a NRC (2005).

Figura 130 – Teores de níquel e chumbo na biomassa aérea de pastagens (*Poaceae*) desenvolvidas em solos sob influência das manchas de inundação (APDL 2016) e sobre solos controle nos Compartimentos 2, 3 e 4.



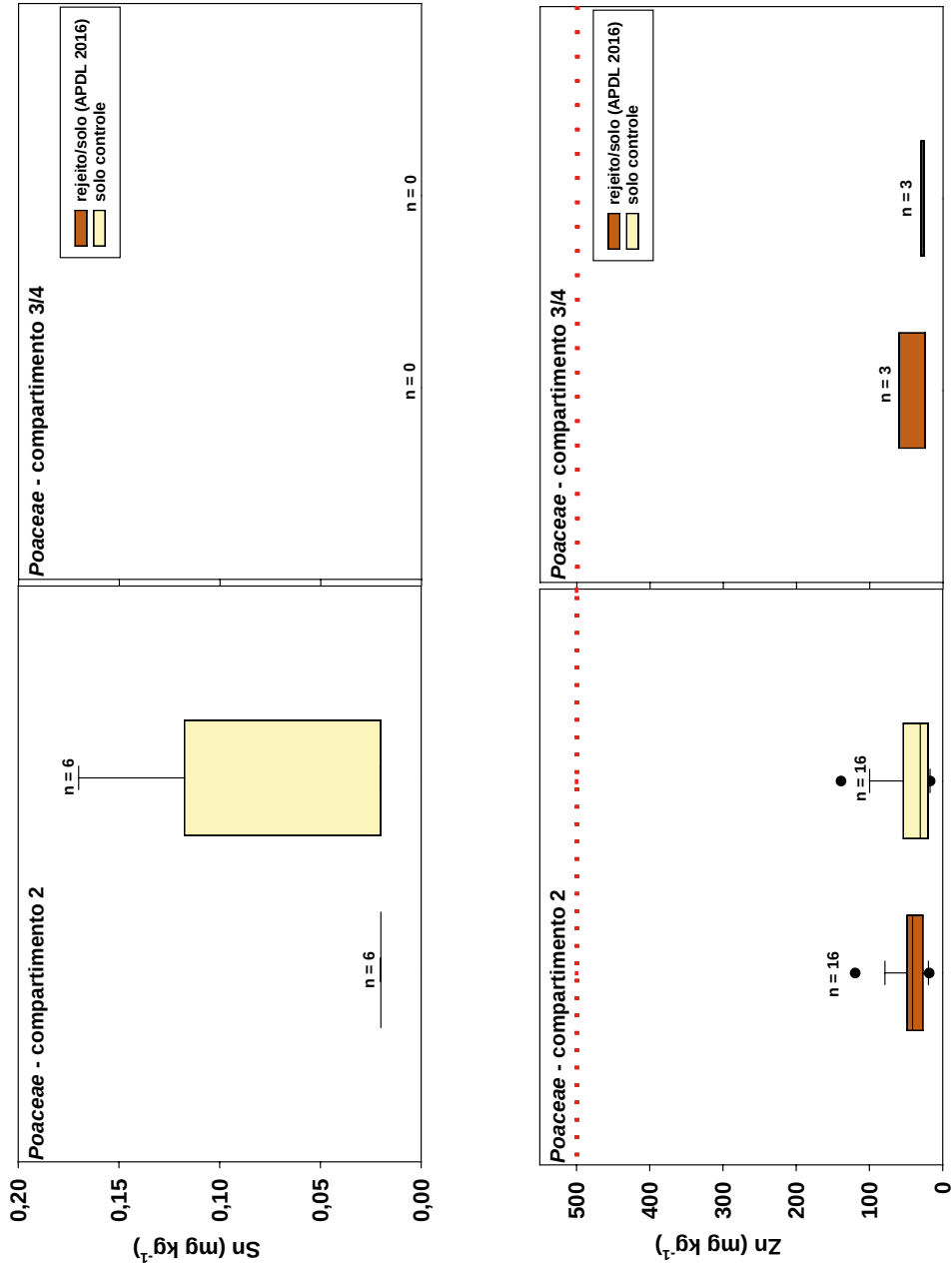
Linhas horizontais vermelhas representam os teores máximos toleráveis no pasto para alimentação de bovinos de acordo com a NRC (2005).

Figura 131 – Teores de antimônio e selênio na biomassa aérea de pastagens (*Poaceae*) desenvolvidas em solos sob influência das manchas de inundação (APDL 2016) e sobre solos controle nos Compartimentos 2, 3 e 4.



Linhas horizontais vermelhas representam os teores máximos toleráveis no pasto para alimentação de bovinos de acordo com a NRC (2005).

Figura 132 – Teores de estanho e zinco na biomassa aérea de pastagens (*Poaceae*) desenvolvidas em solos sob influência das manchas de inundação (APDL 2016) e sobre solos controle nos Compartimentos 2, 3 e 4.



Linhas horizontais vermelhas representam os teores máximos toleráveis no pasto para alimentação de bovinos de acordo com a NRC (2005).

Com exceção ao Fe (Figura 128), nenhum dos EPTs nas biomassas das *Poaceae*, tanto para solos afetados quanto para solos controle, se apresentou em níveis superiores aos TMT para bovinos. Para os elementos Ag, Cd, Hg, Ni, Pb, Sb, Se e Sn os teores foram muito baixos e em igual magnitude com relação às plantas desenvolvidas nos solos controle. No caso do Se, os teores quantificados nos solos (acima dos VRQs) (Figura 119- D e Figura 120- C) não se refletiram em altos teores na planta (Figura 131).

Para o Mo, os teores quantificados nas plantas desenvolvidas no solo controle foram até um pouco superiores em comparação às plantas das áreas afetadas (Figura 129). Com relação ao As, Al, Ba, Co, Cr, Cu, Mn e Zn, os teores medianos desses elementos nas *Poaceae* que se desenvolveram nas manchas de inundação foram superiores aos teores medianos daquelas que se desenvolveram no solo controle, e de forma geral, essas amostras apresentaram maior variabilidade. Em ambas as situações (solos afetados e solos controle), no entanto, os dados demonstram que o pastejo nas áreas não é impeditivo. É importante ressaltar, ainda, que os elementos Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Se e Zn são elementos essenciais aos organismos vivos (incluindo mamíferos) (GUILHERME et al., 2005), e assim como outros elementos, são frequentemente suplementados na dieta de bovinos a pasto por meio de sal mineral.

Mesmo após identificada contaminação de As e Mn nos solos das manchas (Figura 122 e Figura 123), esse fato não se refletiu nas *Poaceae* na mesma magnitude. Essa discussão remete às diferenças entre as formas de EPTs nos solos. Os teores de EPTs nos solos apresentados nas Figura 113 a Figura 121 se referem a teores pseudo totais, onde a abertura das amostras é feita com HNO_3 e HCl concentrados sob condições de alta pressão e temperatura (microondas). Portanto, os teores pseudo totais não necessariamente refletem a disponibilidade a curto e médio prazos para as plantas. As formas disponíveis ou trocáveis de EPTs obtidas por extrações mais brandas (p. ex. Mehlich 1) se correlacionam melhor com a absorção pelas plantas (ABREU; LOPES; SANTOS, 2007). A discussão entre formas e disponibilidade de EPTs já foi extensamente apresentada em BRASIL (MPF)/LACTEC (2020d).

Apenas os teores medianos de Fe na parte aérea das *Poaceae* ficaram acima do limite máximo permitido para pastejo de animais (Figura 128), embora os teores pseudo totais de Fe nos solos não tenham se diferenciado da linha base (Figura 116- D e Figura 117- A). O aumento da disponibilidade de Fe (identificado pelos teores de Fe-Mehlich 1 na ordem de 300 a 500 mg dm^{-3} ; Figura 72- C e Figura 73- C) está normalmente associado à elevada acidez (baixos valores de pH) e condições de anaerobiose do solo (DECHEN; NACHTIGALL, 2006). A planta também tem grande participação nesse processo, pois suas raízes podem acidificar o pH da rizosfera, liberar compostos que auxiliam na absorção do Fe (chamados de sideróforos) e reduzir a zona de desenvolvimento das raízes (DE VOS; LUBBERDING; BIENFAIT, 1986), fatores esses que contribuem para o aumento da disponibilidade de Fe às plantas.

Corroborando com os teores quantificados nas *Poaceae*, as tendências observadas para o tecido foliar dos cacaueiros da região do Espírito Santo reforçam a elevada disponibilidade de Fe e Mn nas áreas afetadas pela APDL nos Compartimentos 3 e 4. Os teores desses elementos nas amostras das áreas afetadas chegaram a níveis de 115,8 e 1.495 mg kg^{-1} (massa seca), respectivamente, enquanto que os teores de Fe e Mn das plantas crescidas no solo controle foram de 50 e 101 mg kg^{-1} , respectivamente. Variações em amostras foliares de cacaueiros no Brasil e no Peru chegaram a teores entre 51,4-279 mg kg^{-1} para Fe e entre 17,1-370,6 mg kg^{-1} para Mn (ARÉVALO-GARDINI et al., 2017; BRAGA, 2015; HUAMANÍ-YUPANQUI et al., 2012), o que demonstra, em especial, os altos níveis de Mn das

plantas de cacau em áreas das manchas de inundação do rio Doce (aproximadamente 4 vezes o limite superior reportado na literatura).

Para os demais EPTs avaliados, os teores medianos quantificados nas folhas das áreas sob influência da APDL foram: Al: 60,7; Ba: 314,1; Cd: 0,6; Co: 5,5; Cr: 0,2; Cu: 7,2; Ni: 19,9; Pb: 0,1; Se: 0,5; e Zn: 61,8 mg kg⁻¹, enquanto que para as amostras sob solo controle: Al: 37,9; Ba: 100,4; Cd: 0,1; Co: 2,3; Cr: 0,2; Cu: 7,24,9; Ni: 3; Se: 0,6; e Zn: 48,5 mg kg⁻¹. Os elementos Ag, As, Mo, Sb e Sn apresentaram teores abaixo do limite de detecção do ICP-MS para todas as amostras avaliadas (afetada ou controle), assim como para o Pb nas amostras de cacau do solo controle. Além disso, os teores de Hg, estiveram abaixo do limite de quantificação do aparelho em todas as amostras. Apesar da baixa representatividade das áreas controle para o cacau (uma vez que as cabruças encontram-se em planícies, sob influência direta das cheias do rio Doce), percebe-se que os teores de alguns EPTs foram superiores nas áreas afetadas em relação às áreas controle. No entanto, as variações encontradas em ambos os grupos de amostras estão dentro da variação reportada na literatura para cacauzeiros do Brasil e do Peru (ARÉVALO-GARDINI et al., 2017; BRAGA, 2015; HUAMANÍ-YUPANQUI et al., 2012), o que remete à faixas de variação normais para esses EPTs, à exceção do Mn, conforme comentado. Teores elevados de Mn em espécies arbóreas no vale do rio Doce são reportados tanto em estudos prévios ao desastre (LEITE et al. 2014) (toxidez de Mn associada à morte de ponteiros de eucalipto, na região entre Santana do Paraíso e Belo Oriente) quanto associados diretamente ao rejeito (FREITAS, 2018) (níveis tóxicos de Mn no tecido foliar de mangueiras da cultivar Rosa desenvolvidas em vaso contendo 50% da lama do rio Doce, coletada no município de Linhares/ES). Ainda, embora não tenha sido detectada contaminação geral da flora nativa, observou-se que a espécie *Chrysophyllum lucentifolium* do solo afetado acumulou mais Mn nas folhas em relação à mesma espécie desenvolvida no solo controle do Compartimento 3 (mais detalhes são apresentados no Documento Suplementar “Estudo de contaminação da flora nativa”). É importante considerar que plantas perenes arbóreas têm sistema radicular profundo e, portanto, essas plantas não estão restritas à exploração do solo apenas na camada superficial afetada pela deposição do rejeito recente, diferentemente das pastagens.

Objetivando complementar as evidências observadas em campo, foram quantificados EPTs nas biomassas das espécies agrônômicas (milho, feijão, alface, beterraba e morango) cultivadas em condições controladas de casa de vegetação, bem como nos substratos ao final do cultivo, de acordo com o arranjo experimental testado (três matrizes (rejeito depositado no Compartimento 1 – MD; material que se depositou nas várzeas das manchas de inundação dos Compartimentos 2, 3 e 4 (material cheia) – MC; e solo controle – CT), dois níveis de nutrientes (com e sem adição de nutrientes via solução nutritiva – NS e NN, respectivamente), submetidos a rega com água de irrigação pura (AC) e água contendo rejeito diluído (AR) para simular a irrigação com águas do rio Doce). Na Figura 133 estão apresentados os agrupamentos de acordo com os tratamentos, para cada parte da planta avaliada. Para cada linha (em cada um dos EPTs), cores iguais indicam que não houve diferença entre os tratamentos testados, sendo que o vermelho representa o grupo que resultou na maior média do elemento.

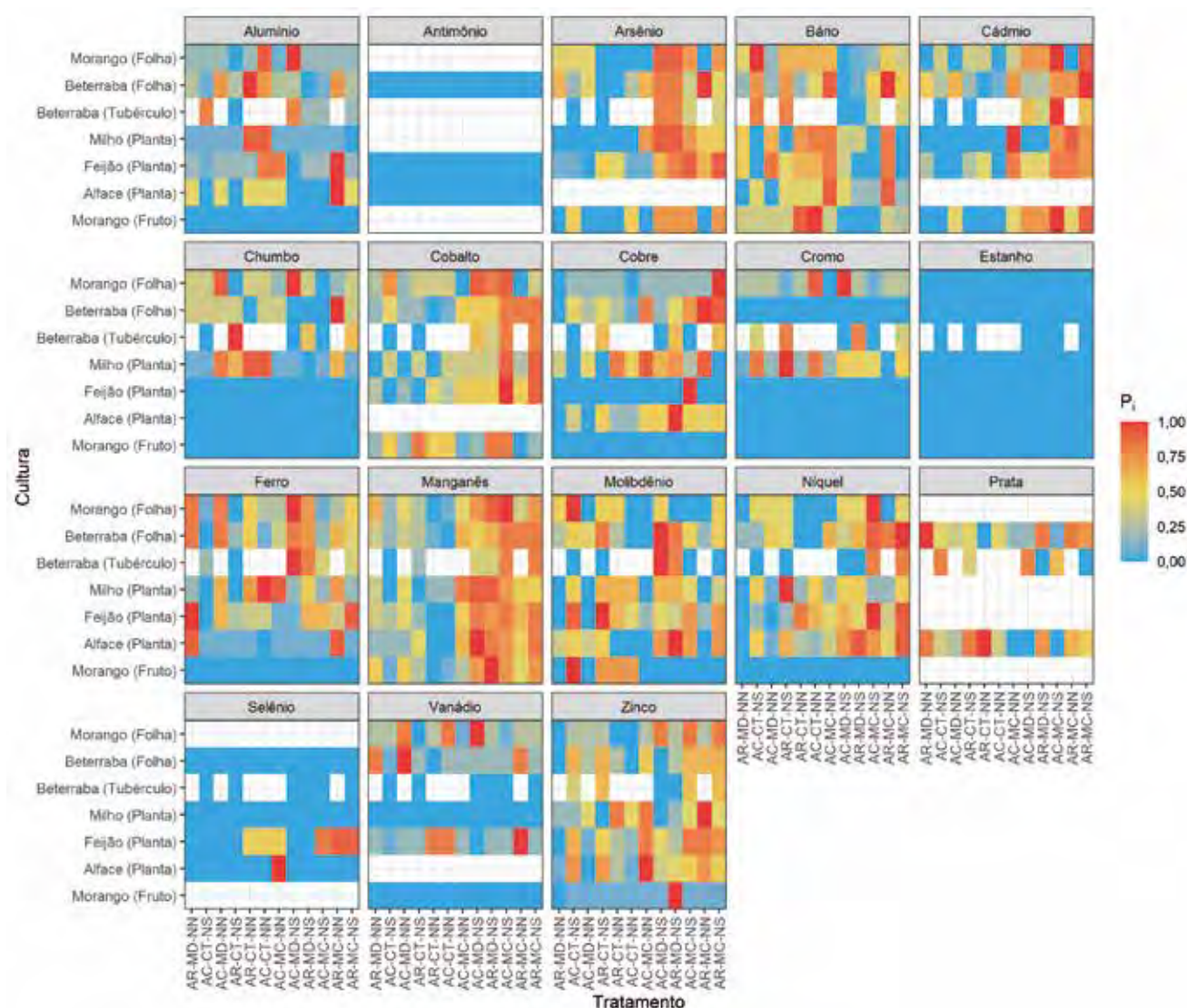
Da mesma maneira que ocorrido para os teores de nutrientes (item 2.2.3), cada espécie vegetal tem sua fisiologia própria, o que influencia na absorção e distribuição de elementos químicos nos tecidos. Além disso, as partes amostradas de cada cultura variaram (desde a análise da parte aérea

como um todo (para milho, feijão e alface), folhas (morango e beterraba), fruto (morango) e tubérculo (beterraba)), o que decorre em diferenças em função das translocações na planta. Assim, variações eram esperadas. No entanto, para alguns EPTs ainda foi possível estabelecer padrões, ou seja, mesma resposta ao tratamento em todas as plantas, o que auxilia na interpretação sobre os efeitos das matrizes, águas de irrigação e nutrientes.

Foi possível identificar que o tratamento MC está associado a teores mais elevados de As, Cd, Co, Fe, Mn e Zn, enquanto que o MD também está associado ao Mn e Fe. Para o Ba, os grupos que representam os teores mais elevados desse EPT estão associados ao CT (Figura 133).

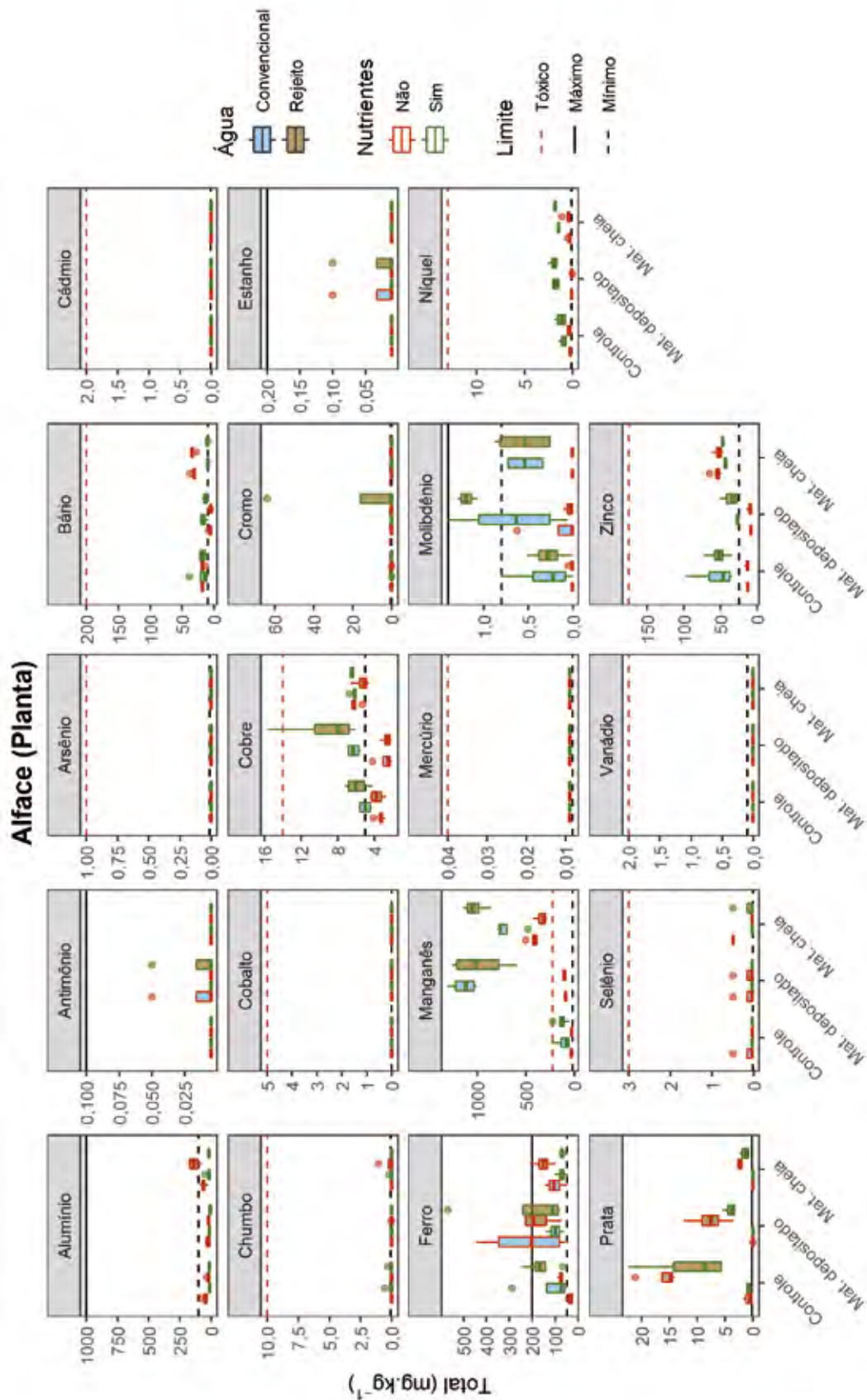
A complementação à essas observações podem ser obtidas nos gráficos de teores de EPT para cada espécie vegetal, apresentados na Figura 134 a Figura 140. Esses gráficos são importantes, pois permitem a comparação com a faixa de teores já reportados na literatura (limites máximos e mínimos), ou seja, teores considerados normais para a espécie (ANTUNES; JÚNIOR; SCHWENGBER, 2016; BONNE; VARNER, 1965; RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999; COMISSÃO, 2004; COSTA, 2014; FAQUIN, 2005; FLORES et al., 2019; HOCHMUTH et al., 2018; IPNI, 1998; JONES, 1998; KERBAUY, 2019; MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 1997; MOCELLIN, 2004; NAEEM; ANSARI; GILL, 2020; OGUNDELE; ADIO; OLUDELE, 2015; PAULETTI, 2011; RAIJ, 2011; ROHDE, 2013; SBCS, 2017, 2018, 2019; VIECELLI, 2017). Ainda, para os elementos em que foi possível obter o teor tóxico (do ponto de vista de toxicidade da planta), as informações permitem verificar se a cultura pode estar submetida a estresse causado pelo excesso de determinado elemento.

Figura 133 – Heatmap para os teores de elementos potencialmente tóxicos nos tecidos vegetais de morango, beterraba (folha e tubérculo), milho, feijão, alface e morango (folha e fruto). Cores iguais (em cada linha) indicam que os tratamentos pertencem ao mesmo grupo e não diferem entre si.



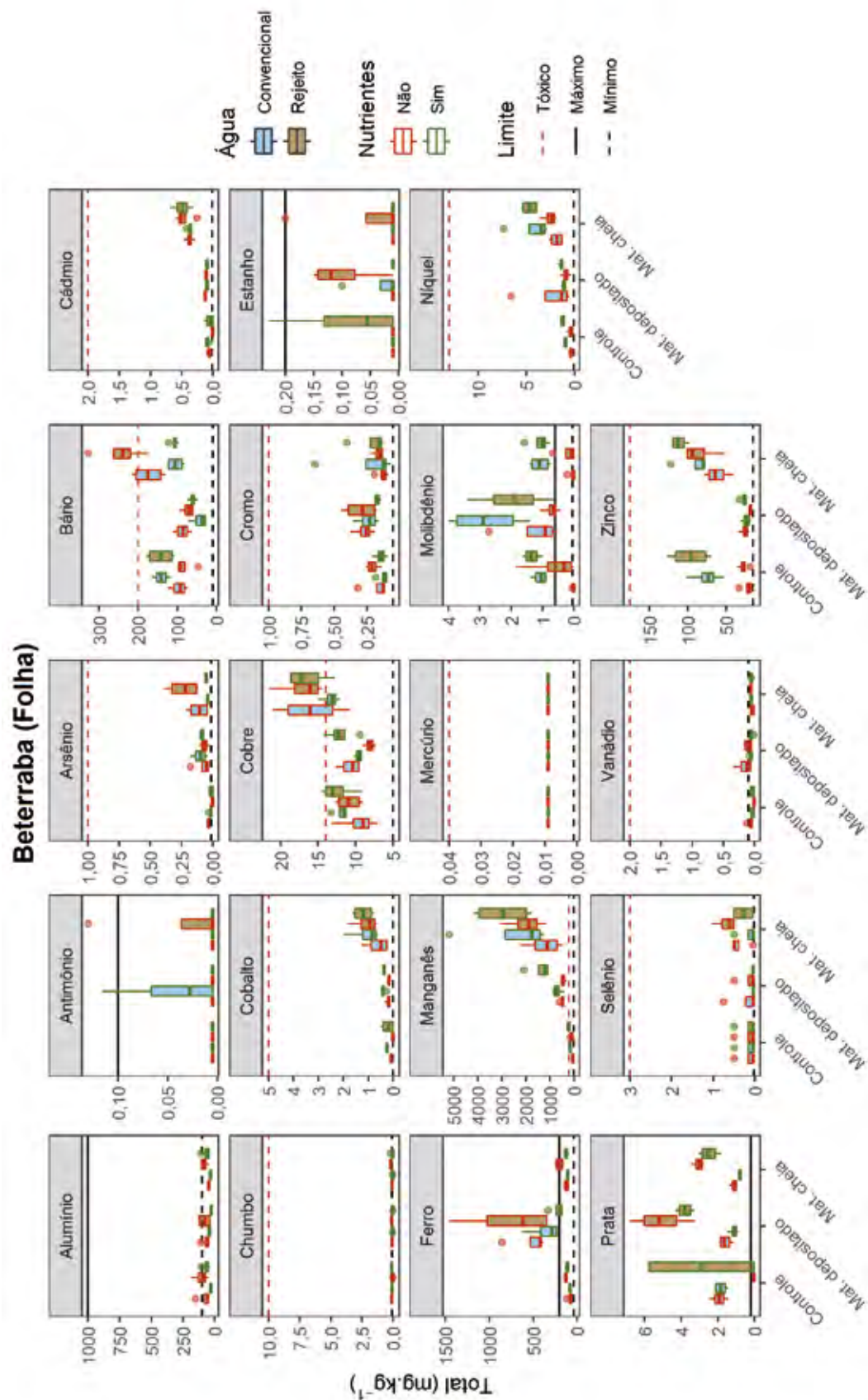
Em cada linha e para cada variável, foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis e calculado o escore, controlando o erro para as comparações múltiplas. A ordenação, tanto dos tratamentos, quanto das culturas, foi feita com base na média dos valores de . AC: água controle; AR: água rejeito; MD; material depositado; MC: material cheia; CT: solo controle; NN: nutrientes – não; NS: nutrientes – sim.

Figura 134 – Teores de elementos potencialmente tóxicos quantificados no tecido vegetal da alface (*Lactuca sativa*) cultivada no experimento.



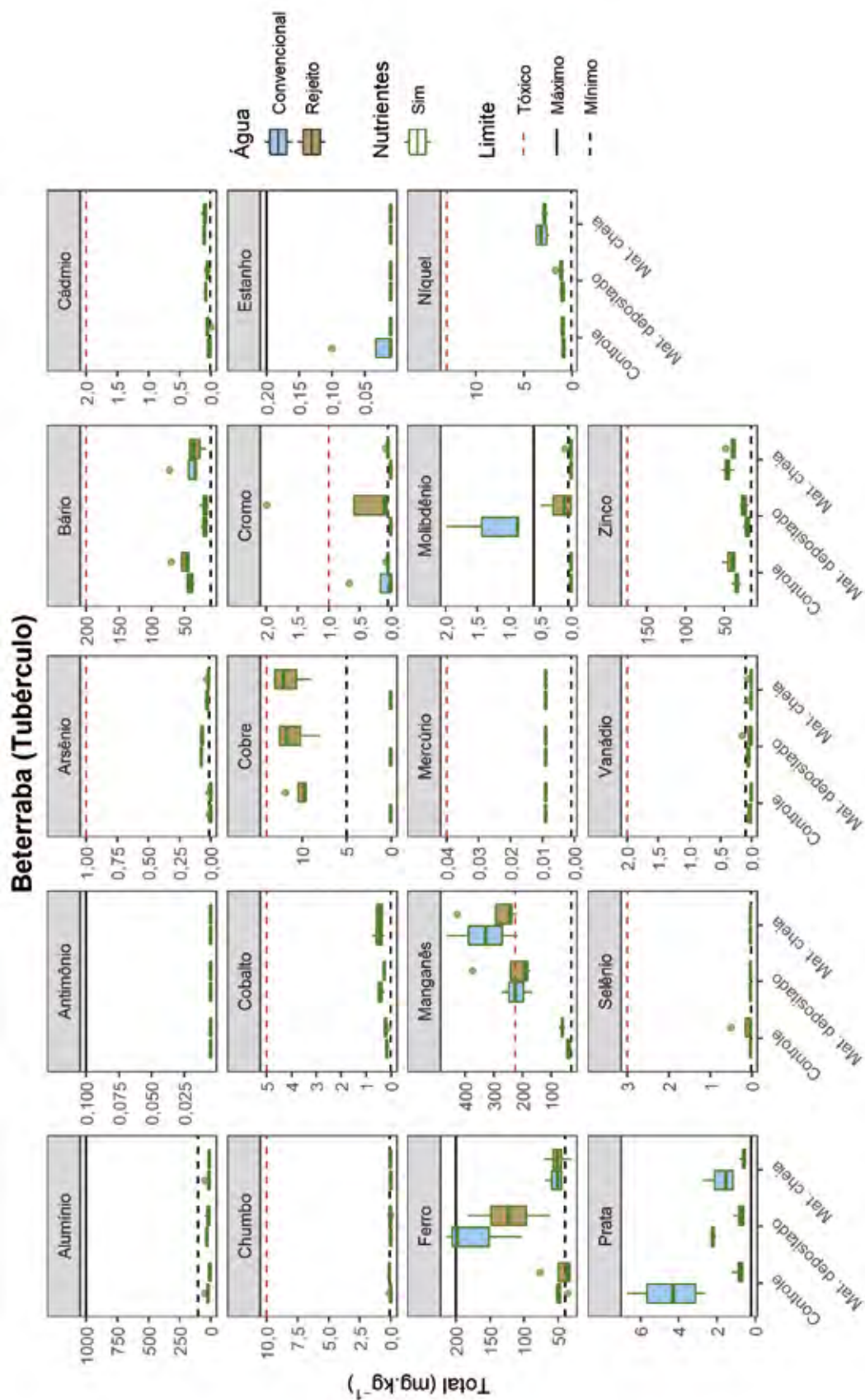
As linhas de limites máximo/tóxico e mínimo representam teores reportados previamente na literatura, conforme descrito no item 2.2.1.4.

Figura 135 – Teores de elementos potencialmente tóxicos quantificados no tecido foliar da beterraba (*Beta vulgaris*) cultivada no experimento.



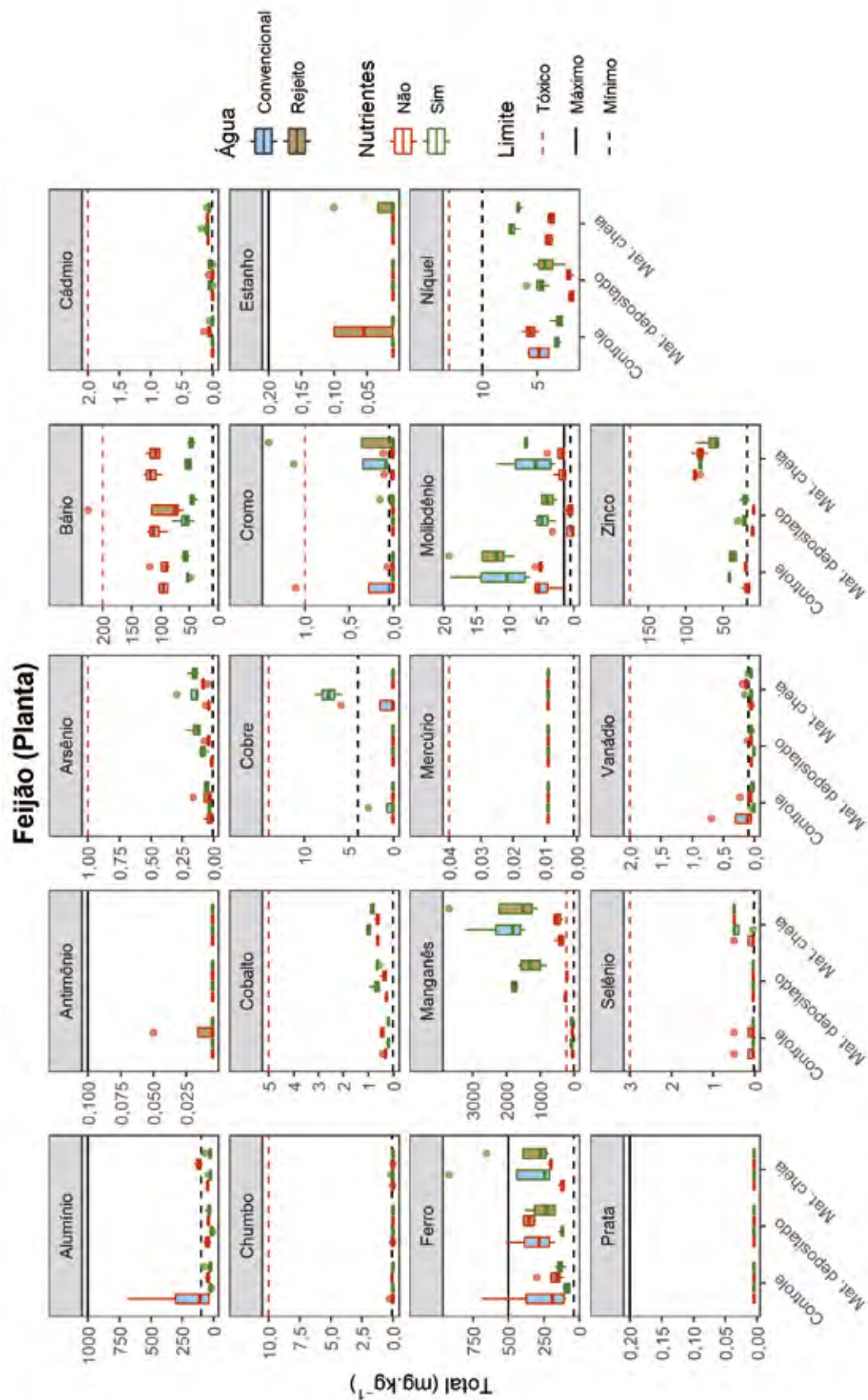
As linhas de limites máximo/tóxico e mínimo representam teores reportados previamente na literatura, conforme descrito no item 2.2.1.4.

Figura 136 – Teores de elementos potencialmente tóxicos quantificados na raiz tuberosa da beterraba (*Beta vulgaris*) cultivada no experimento.



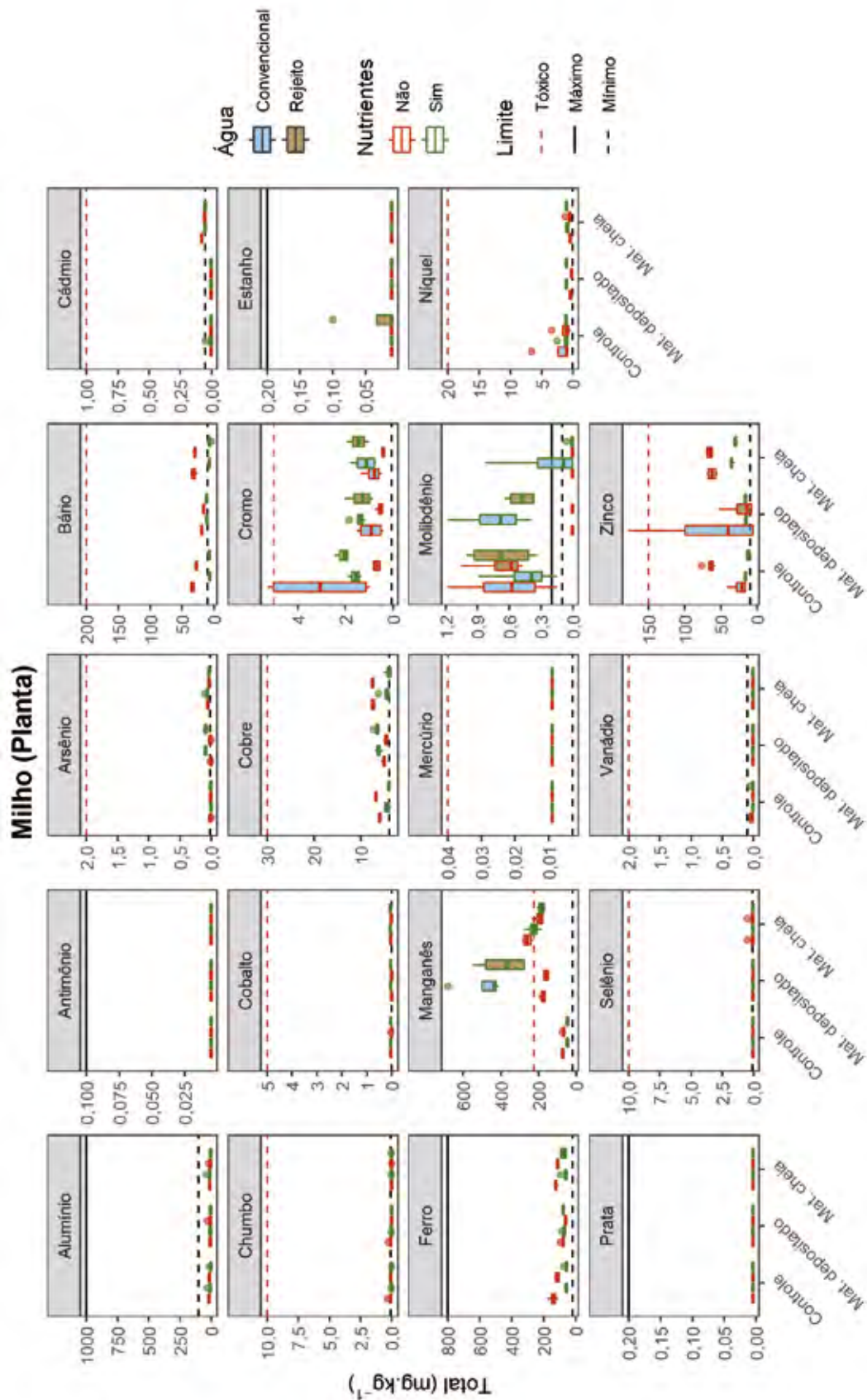
As linhas de limites máximo/tóxico e mínimo representam teores reportados previamente na literatura, conforme descrito no item 2.2.1.4.

Figura 137 – Teores de elementos potencialmente tóxicos quantificados no tecido vegetal do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) cultivado no experimento.



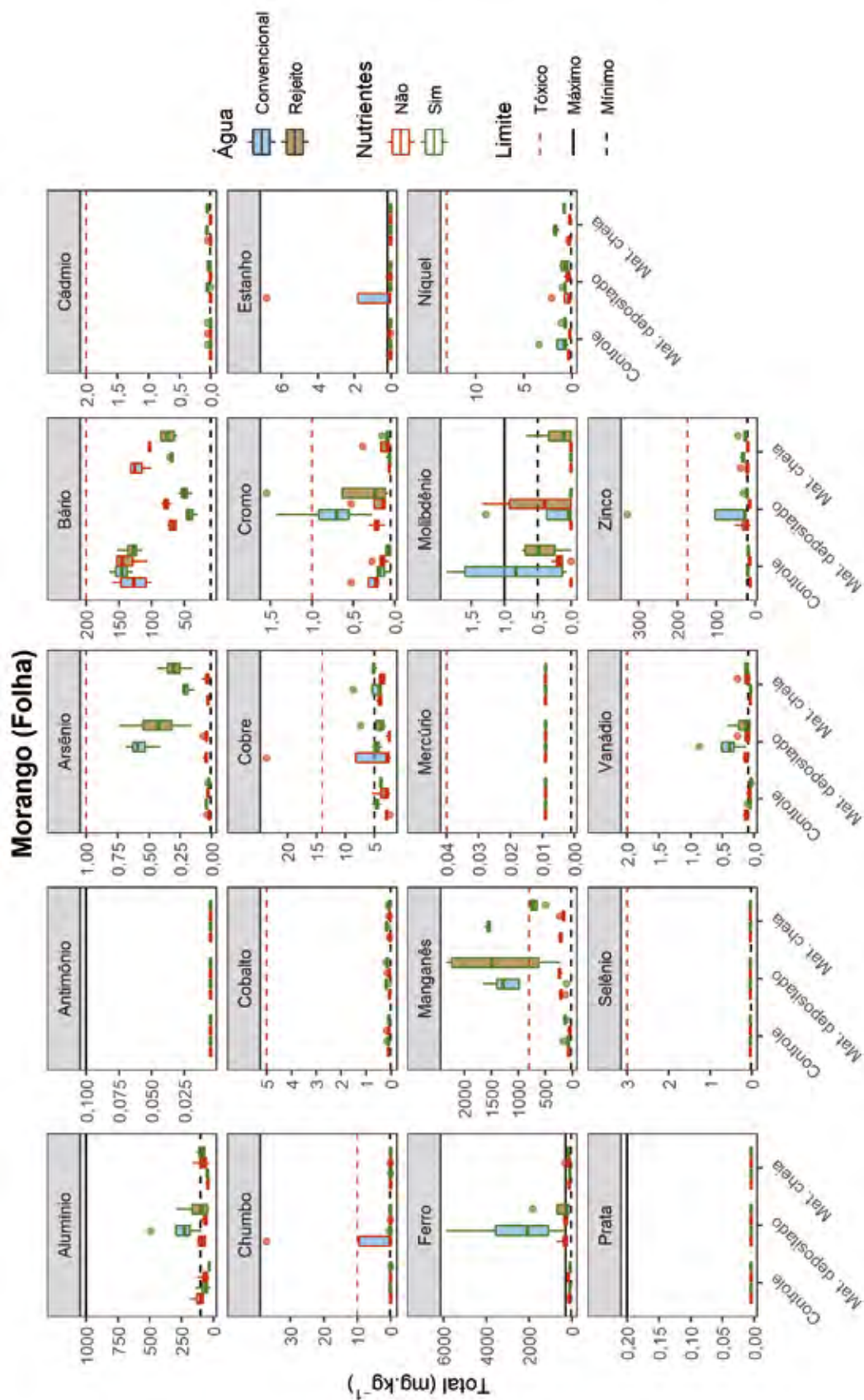
As linhas de limites máximo/tóxico e mínimo representam teores reportados previamente na literatura, conforme descrito no item 2.2.1.4.

Figura 138 – Teores de elementos potencialmente tóxicos quantificados no tecido vegetal do milho (*Zea mays* L.) cultivado no experimento.



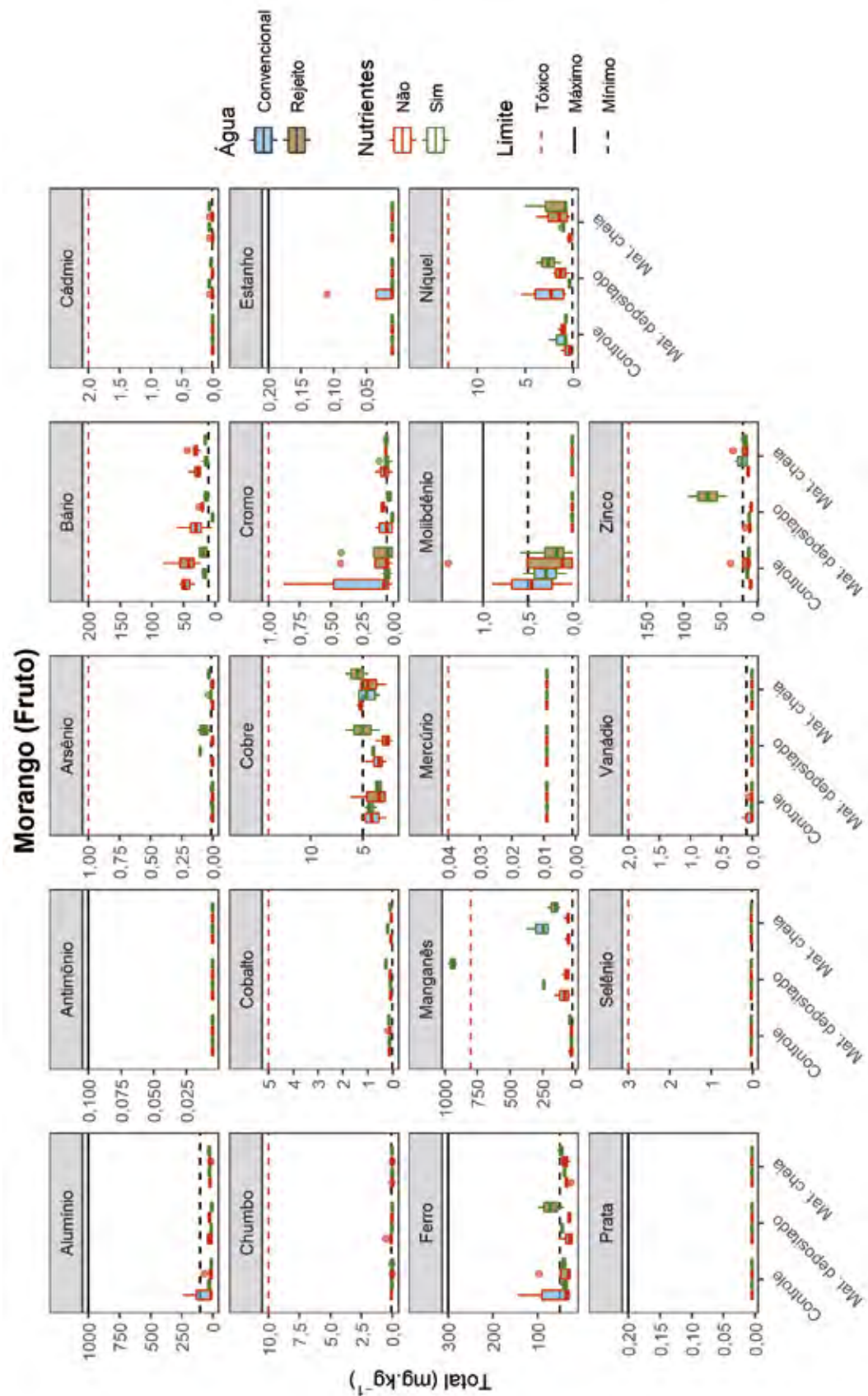
As linhas de limites máximo/tóxico e mínimo representam teores reportados previamente na literatura, conforme descrito no item 2.2.1.4.

Figura 139 – Teores de elementos potencialmente tóxicos quantificados no tecido foliar do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.) cultivado no experimento.



As linhas de limites máximo/tóxico e mínimo representam teores reportados previamente na literatura, conforme descrito no item 2.2.1.4.

Figura 140 – Teores de elementos potencialmente tóxicos quantificados nas infrutescências do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.) cultivado no experimento.



As linhas de limites máximo/tóxico e mínimo representam teores reportados previamente na literatura, conforme descrito no item 2.2.1.4.

De maneira muito consistente, o Mn foi o único elemento que esteve em teores acima dos níveis tóxicos reportados, sempre quando as espécies agrícolas foram cultivadas no MD e MC, especialmente quando os nutrientes foram repostos por solução nutritiva (Figura 134 a Figura 140). Não houve diferenciação entre os vasos que receberam AC ou AR, o que permite afirmar que os efeitos observados são decorrentes das características das matrizes. Essa observação é consistente com as verificações de campo (teores elevados de Mn pseudo total e disponível, tanto no Tecnossolo quanto nas amostras das manchas de inundação) (Figura 72-D; Figura 73- D; Figura 117- C; e Figura 118- B) (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d). Assim, é seguro afirmar que as plantas que se desenvolvem sobre o rejeito depositado no Compartimento 1 ou sobre os solos afetados por deposições menores na porção extracalha dos Compartimentos 2, 3 e 4 estão submetidas a níveis fitotóxicos de Mn.

Essa verificação foi observada durante o acompanhamento do desenvolvimento das plantas no experimento (Figura 141). O Mn é um elemento pouco móvel na planta e, assim, os sintomas de deficiência desse elemento costumam se expressar em folhas jovens ou intermediárias (DECHEN; NACHTIGALL, 2006). Por outro lado, os sintomas de excesso de Mn (toxidez) se expressam em folhas maduras, manifestando-se como manchas marrons (DECHEN; NACHTIGALL, 2006).

Figura 141 – Sintomas visuais de toxidez de Mn no feijoeiro cultivado no rejeito depositado no Compartimento 1. Da esquerda para direita: identificação do sintoma nas folhas maduras; sintomas em estágio inicial e avançado.



Contudo, mesmo o MC apresentando níveis fitotóxicos de Mn, é importante ressaltar que essa matriz não restringiu as produções de biomassa (Figura 87 a Figura 89), da mesma maneira que ocorrido para o MD sob correção de nutrientes, corroborando o estudo de Cruz et al. (2020). Os autores verificaram, também, teores elevados de Fe (entre 1.200 e 7.000 mg kg⁻¹) na parte aérea de mudas de espécies nativas desenvolvidas no rejeito sem adubação e em condição controlada. Embora não se tenha limite tóxico para Fe para as culturas avaliadas (de acordo com as literaturas consultadas), esse também se mostrou acima do limite máximo reportado na literatura para as espécies avaliadas no presente estudo, especialmente para alface, beterraba e morango que cresceram no MD.

Os teores de Ag estiveram acima do teor máximo reportado na literatura para alface e beterraba, mas de forma indistinta entre os substratos. A mesma situação ocorreu para os teores de Mo em beterraba, feijão e milho, ou seja, os teores quantificados nos tecidos dessas plantas foram maiores do que o limite máximo reportado para essas espécies na literatura; porém, isso ocorreu de forma semelhante entre os substratos, mas de forma mais evidente, para aqueles que receberam solução nutritiva. O Mo, assim como outros EPTs avaliados (Cu, Fe, Mn, Ni e Zn) são considerados também nutrientes de planta. A solução aplicada no tratamento NS contém molibdato de amônio, e, portanto, o elemento está prontamente disponível para absorção pelas plantas. Neste caso, fica evidente a

contribuição da solução nutritiva para os teores mais elevados de Mo nos tecidos. Esse elemento foi muito mais absorvido pelas plantas de feijão em comparação à outras espécies por esse elemento estar relacionado tanto com enzimas do ciclo do nitrogênio na planta (nitrato redutase) quanto com enzimas em nódulos de espécies que realizam fixação biológica do nitrogênio (nitrogenase) (DECHEN; NACHTIGALL, 2006), como é o caso do feijão e outras leguminosas. Por fim, observou-se teores de Ba e Cu acima dos níveis tóxicos para a beterraba folha desenvolvida no MC, porém a mesma situação não se repetiu nas demais espécies.

A contaminação de As verificada nos solos das manchas de inundação dos Compartimentos 2, 3 e 4 (Figura 122 e Figura 123) não se refletiram em teores preocupantes com relação à fisiologia vegetal, uma vez que, assim como o observado para as plantas coletadas no campo (Figura 125), os teores medianos do elemento foram baixos para todas as culturas e partes das plantas (máximo de 0,5 mg kg⁻¹, massa seca) e muito inferiores ao limite máximo/tóxico reportados na literatura. Por outro lado, a mesma contaminação nos solos das manchas de inundação, verificada para Mn, se refletiu nas plantas de maneira bastante evidente. Essa diferença entre As e Mn provavelmente pode ser explicada pelas diferenças de disponibilidade dos elementos, conforme já discutido.

Não houve comportamento consistente com relação à absorção de EPTs pelos vegetais em relação às águas de irrigação (água deionizada, e rejeitos diluídos na água) (Figura 134 a Figura 140), ou seja, os mesmos comportamentos foram observados para AC e AR. Mesmo tendo sido identificado que alguns elementos na AR estavam acima dos valores preconizados pela Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005) para águas classe 1 (indicadas para irrigação de hortaliças) e pela FAO (1985) para efluentes aplicados na agricultura (Al e Fe dissolvidos; Al, Mn, Fe e Pb totais) (Tabela 15), os mesmos não refletiram na absorção dos cultivos.

Tabela 15 – Teores dissolvidos e totais de elementos potencialmente tóxicos nas diferentes águas de irrigação utilizadas no experimento.

ID Amostra/ data	Al	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Cd	Sn	Sb	Ba	Pb	Ag	Hg
mg L ⁻¹																			
Teores Dissolvidos																			
Água deionizada	09/03/20	0,025	N.D.	0,005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0002	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0035	0,0014	<0,0005	<0,00009
	16/03/20	N.D.	<0,0005	0,002	N.D.	N.D.	<0,001	N.D.	N.D.	0,0007	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0030	0,0564	<0,0005	<0,00009
	23/03/20	N.D.	<0,0005	0,002	N.D.	N.D.	<0,001	N.D.	N.D.	0,0004	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0036	0,0013	<0,0005	<0,00009
	30/03/20	0,019	<0,0005	0,001	0,011	N.D.	<0,001	N.D.	<0,05	0,0002	N.D.	<0,0005	N.D.	<0,001	N.D.	0,004	<0,0005	<0,0005	<0,00009
	16/04/20	0,019	<0,0005	0,001	0,012	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0002	N.D.	0,0007	N.D.	<0,001	N.D.	0,0024	<0,0005	<0,0005	<0,00009
	08/06/20	N.D.	<0,0005	<0,001	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	<0,0001	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0019	N.D.	<0,0005	<0,00009
Água + Tecnossolo	09/03/20	0,895	0,0012	0,0022	0,465	0,537	0,0015	0,004	0,005	N.D.	0,0006	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0573	0,0107	<0,0005	<0,00009
	16/03/20	0,576	0,0005	0,0014	0,171	0,173	0,0006	0,001	N.D.	0,0003	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0334	0,0423	<0,0005	<0,00009
	23/03/20	0,413	<0,0005	0,0015	0,088	0,468	<0,0005	<0,001	N.D.	0,0005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0299	0,0195	<0,0005	<0,00009
	30/03/20	0,14	<0,0005	0,0007	0,006	0,678	N.D.	0,001	N.D.	0,0003	N.D.	<0,0005	N.D.	<0,001	N.D.	0,0249	<0,0005	<0,0005	<0,00009
	16/04/20	0,089	N.D.	0,0006	0,004	0,347	N.D.	<0,001	N.D.	0,0002	N.D.	<0,0005	N.D.	N.D.	N.D.	0,0236	<0,0005	<0,0005	<0,00009
	08/06/20	0,026	N.D.	0,0005	0,001	0,167	N.D.	<0,001	N.D.	<0,0001	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0229	N.D.	<0,0005	<0,00009
Água + mat. cheia	09/03/20	2,202	0,0117	0,0166	1,368	5,005	0,0069	0,008	0,012	0,0046	0,009	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,1094	0,0197	<0,0005	<0,00009
	16/03/20	1,641	0,0104	0,0112	1,098	3,311	0,0043	0,006	0,006	0,0036	0,005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0890	0,0134	<0,0005	<0,00009
	23/03/20	1,302	0,0069	0,0100	0,479	2,774	0,0032	0,005	0,006	0,0033	0,005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0851	0,0199	<0,0005	<0,00009
	30/03/20	2,95	0,0039	0,0050	0,115	2,378	0,0006	0,003	<0,005	0,0008	N.D.	0,0008	N.D.	<0,001	<0,0005	0,0697	0,0013	<0,0005	<0,00009
	16/04/20	0,276	0,0010	0,0007	3,298	0,187	<0,0005	0,003	<0,005	0,0004	N.D.	0,0007	N.D.	N.D.	N.D.	0,1305	0,0007	<0,0005	<0,00009
	08/06/20	0,529	0,0013	0,0015	0,003	0,701	<0,0005	0,001	<0,005	0,0002	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0492	<0,0005	<0,0005	<0,00009

ID Amostra/ data	Al	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Cd	Sn	Sb	Ba	Pb	Ag	Hg
mg L ⁻¹																			
Teores Totais																			
Água deionizada	09/03/20	0,025	N.D	0,0006	0,005	0,106	N.D	N.D	N.D	0,0002	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0,0035	0,0016	<0,0005	<0,00009
	16/03/20	N.D	N.D	<0,0005	0,002	N.D	<0,001	N.D	N.D	0,0009	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0,003	0,0575	<0,0005	<0,00009
	23/03/20	N.D	N.D	<0,0005	0,002	N.D	<0,001	N.D	N.D	0,0004	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0,0036	0,0013	<0,0005	<0,00009
	30/03/20	0,023	N.D	<0,0005	0,002	0,02	<0,001	N.D	0,06	0,0003	N.D	0,0007	N.D	<0,001	N.D	0,0049	<0,0005	<0,0005	<0,00009
	16/04/20	0,025	N.D	<0,0005	0,001	0,026	<0,001	N.D	<0,05	0,0002	N.D	0,0009	N.D	<0,001	0,0006	0,0032	<0,0005	<0,0005	<0,00009
	08/06/20	0,006	N.D	<0,0005	0,004	N.D	<0,001	N.D	N.D	<0,0001	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0,0033	N.D	<0,0005	<0,00009
Água + Tecnossolo	09/03/20	5,015	0,0099	0,0164	0,59	32,995	0,0021	0,005	N.D	0,0039	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0,0625	0,0132	<0,0005	<0,00009
	16/03/20	2,949	0,0056	0,0102	0,263	21,935	0,0013	0,031	N.D	0,0029	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0,0384	0,0472	<0,0005	<0,00009
	23/03/20	2,289	0,0042	0,0073	0,148	17,651	0,0006	0,002	N.D	0,0025	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0,0309	0,0212	<0,0005	<0,00009
	30/03/20	6,192	0,0079	0,0127	0,204	39,975	0,0009	0,004	<0,005	0,0029	N.D	0,0008	N.D	<0,001	<0,0005	0,0385	0,0039	<0,0005	<0,00009
	16/04/20	3,914	0,0045	0,0073	0,089	20,233	<0,0005	0,003	<0,005	0,0017	N.D	0,0006	N.D	<0,001	<0,0005	0,0344	0,0023	<0,0005	<0,00009
	08/06/20	0,342	0,0006	0,0015	0,011	2,539	N.D	<0,001	N.D	0,0002	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0,0242	<0,0005	<0,0005	<0,00009
Água + mat. cheia	09/03/20	30,07	0,0751	0,0756	1,494	46,403	0,0105	0,02	0,06	0,0142	0,01	N.D	N.D	N.D	N.D	0,1324	0,0284	<0,0005	<0,00009
	16/03/20	16,13	0,0416	0,0443	1,21	24,733	0,0068	0,012	<0,05	0,0082	0,005	N.D	N.D	N.D	N.D	0,1058	0,0178	<0,0005	<0,00009
	23/03/20	17,9	0,0431	0,0436	0,561	26,699	0,0057	0,017	<0,05	0,0088	0,006	N.D	N.D	N.D	N.D	0,0962	0,0242	<0,0005	<0,00009
	30/03/20	39,09	0,0669	0,067	3,106	41,582	0,0096	0,020	<0,05	0,0070	<0,005	0,001	N.D	0,002	<0,0005	0,1629	0,0184	<0,0005	<0,00009
	16/04/20	25,07	0,0352	0,0355	4,364	22,109	0,0059	0,014	<0,05	0,0040	<0,005	0,0008	N.D	0,001	<0,0005	0,1666	0,0096	<0,0005	<0,00009
	08/06/20	3,829	0,0086	0,0087	0,053	5,806	0,0009	0,002	<0,005	0,0009	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0,0582	0,0018	<0,0005	<0,00009

Teores destacados em vermelho: acima da Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005) para águas classe 1; teores destacados em vermelho escuro: acima dos teores preconizados para qualidade de efluentes aplicados na agricultura (FAO, 1985). N.D.: não detectado.

Dessa forma, segundo os dados obtidos neste trabalho, a irrigação com água do rio Doce não irá contaminar os vegetais com EPTs e não irá comprometer a qualidade das plantas. Uma importante ressalva é que a irrigação neste experimento foi testada via solo, ou seja, para irrigação por aspersão, novos estudos são necessários para afirmar a segurança dessa prática. Ainda, FAO (1985) alertam que aplicações repetidas de quantidades excessivas de EPTs via água de irrigação ou efluentes podem resultar em solos improdutivos a longo prazo.

Os conteúdos de EPTs, ou seja, as quantidades extraídas pelas plantas (teores multiplicados pelas biomassas produzidas) estão apresentados nas Figura 142 a Figura 148. Assim como ocorrido para os nutrientes, as extrações totais de EPTs tenderam a ocorrer de forma mais expressiva nos substratos que resultaram em maiores produções de biomassa, ou seja, CT e MC. Ainda, a adição de nutrientes, independentemente das águas de irrigação, proporcionou maiores biomassas e, consequentemente, maiores conteúdos de EPTs de forma geral. O Mn foi mais extraído sempre quando as plantas foram cultivadas no MC e na presença de nutrientes. Esse foi o elemento mais extraído das matrizes dentre todos os EPTs, chegando a magnitudes de 50 mg por vaso (para beterraba folha e feijão). O segundo elemento mais extraído foi o Fe (máximo de 15 mg por vaso para as plantas de feijão), o que reforça a elevada disponibilidade desses elementos no MD (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d) e MC (Figura 72 e Figura 73- C e D). Os demais EPTs foram menos extraídos, comparativamente ao Mn e ao Fe (escala de no máximo 2 mg por vaso). O As, por exemplo, embora também tenha sido detectado como um contaminante dos solos das manchas de inundação (Figura 122 e Figura 123), foi extraído em quantidades muito pequenas pelas espécies agrícolas, independentemente do tratamento (máximo de 0,05 mg por vaso).

De maneira geral, os teores pseudo totais de EPTs nos solos nas matrizes dos vasos ao final do experimento foram superiores no MC (solos que representam os Compartimentos 2, 3 e 4) em comparação às demais matrizes, independentemente da cultura, água de irrigação ou adição de nutrientes (Figura 149 a Figura 154). As exceções são para os elementos Al e Ni, que foram superiores no CT; ao Fe, cujos teores foram igualmente superiores no MD e MC em comparação ao CT; e para os elementos Pb e Cr, em que os substratos CT e MC não se diferenciaram entre si, mas apresentaram teores mais elevados desses elementos com relação ao CT. Para o Mo, a variabilidade nos teores não permitiu identificar padrões.

Figura 142 – Conteúdo de elementos potencialmente tóxicos extraídos pela alface (*Lactuca sativa*) cultivada no experimento.

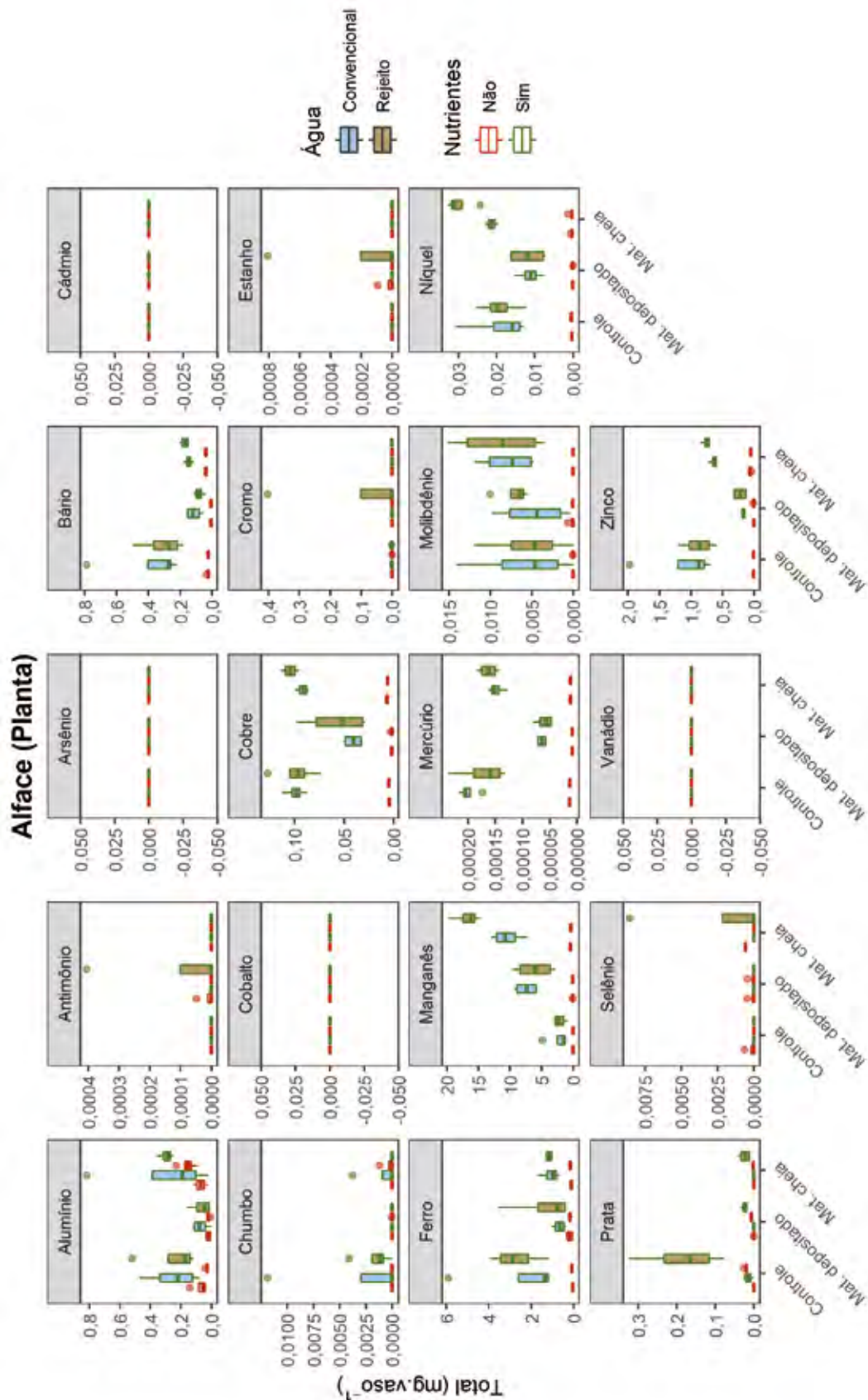


Figura 143 – Conteúdo de elementos potencialmente tóxicos extraídos pelas folhas da beterraba (*Beta vulgaris*) cultivada no experimento.

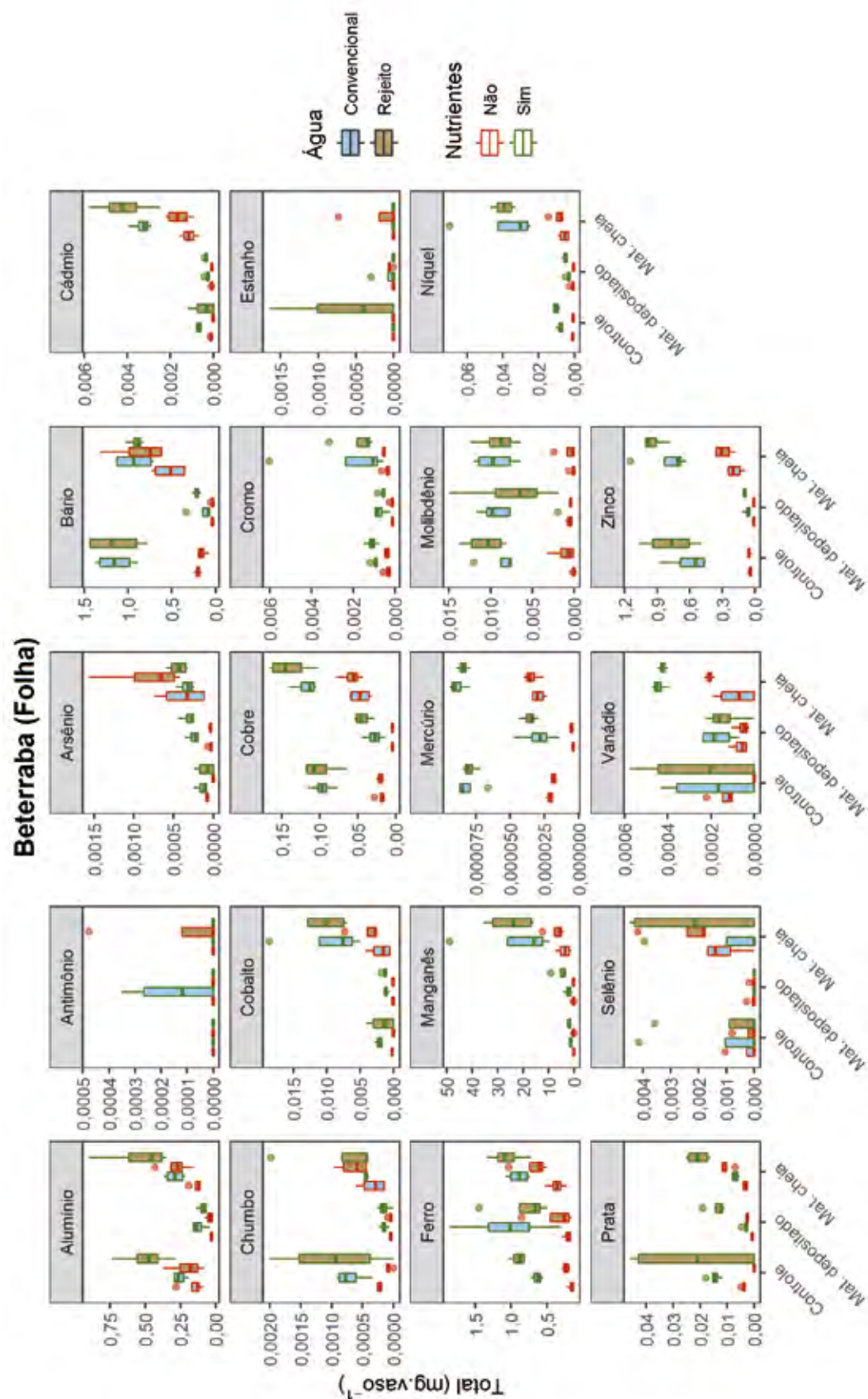


Figura 144 – Conteúdo de elementos potencialmente tóxicos extraídos pela raiz tuberosa da beterraba (*Beta vulgaris*) cultivada no experimento.

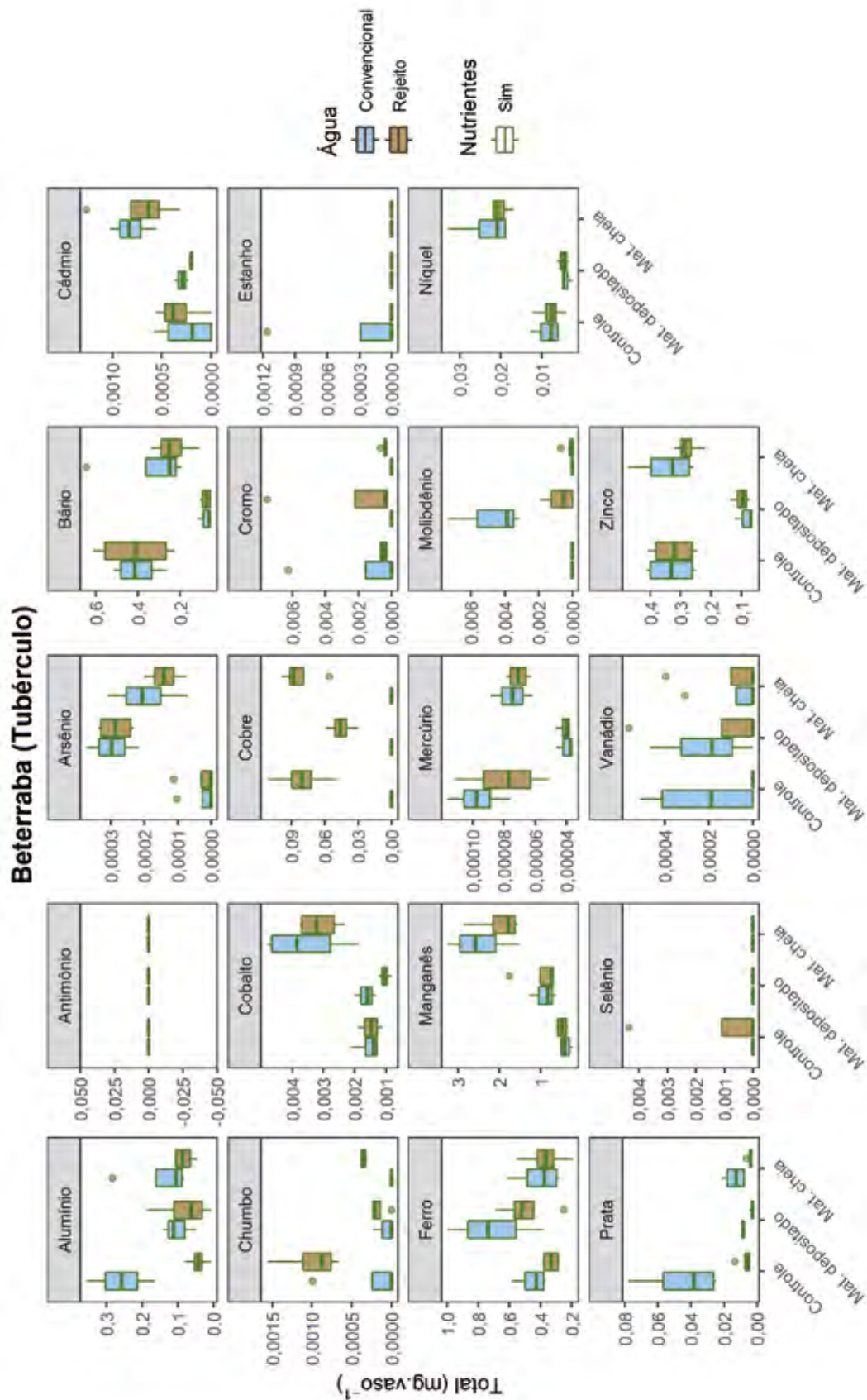


Figura 145 – Conteúdo de elementos potencialmente tóxicos extraídos pelo feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) cultivado no experimento.

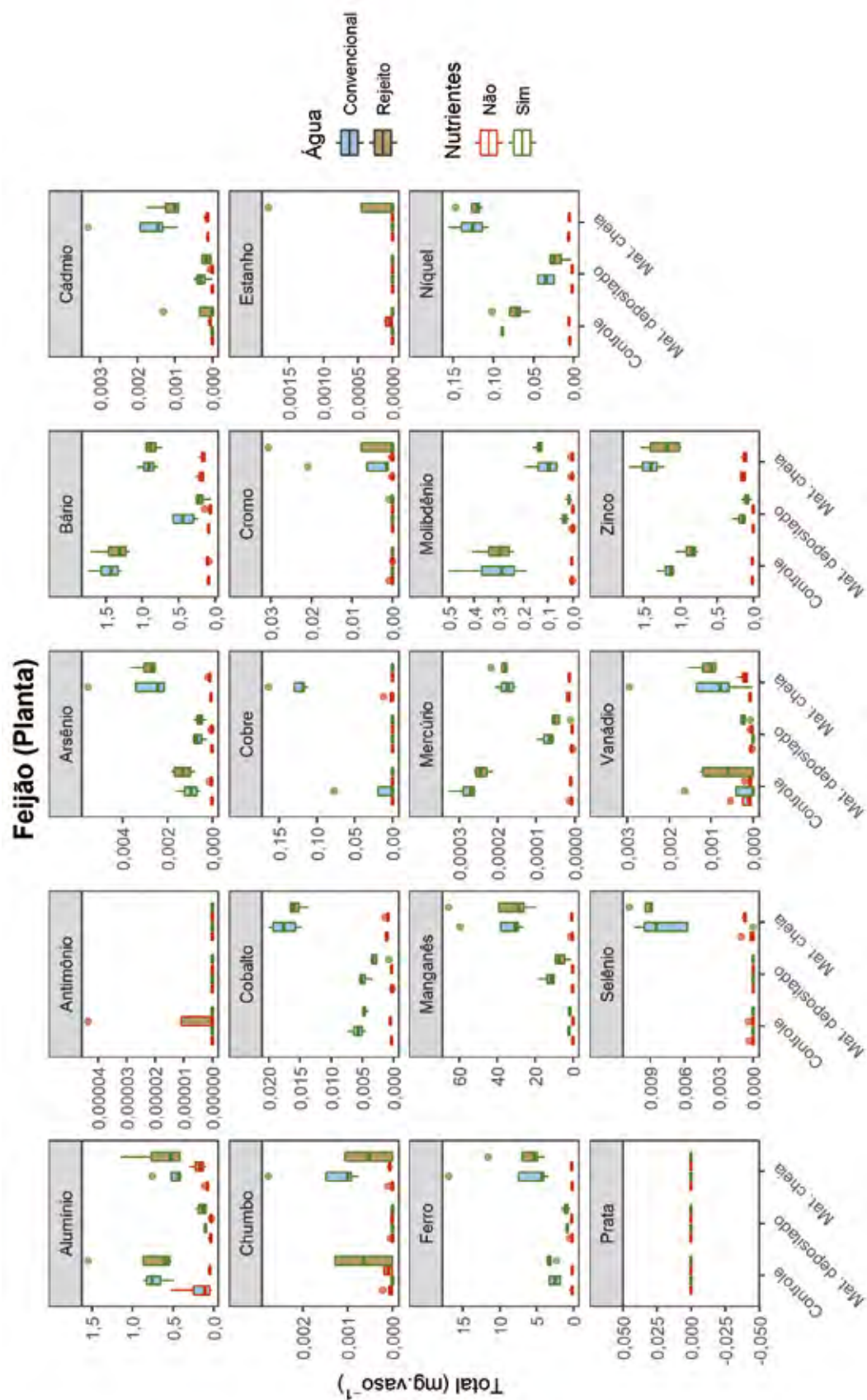


Figura 146 – Conteúdo de elementos potencialmente tóxicos extraídos pelo milho (*Zea mays* L.) cultivado no experimento.

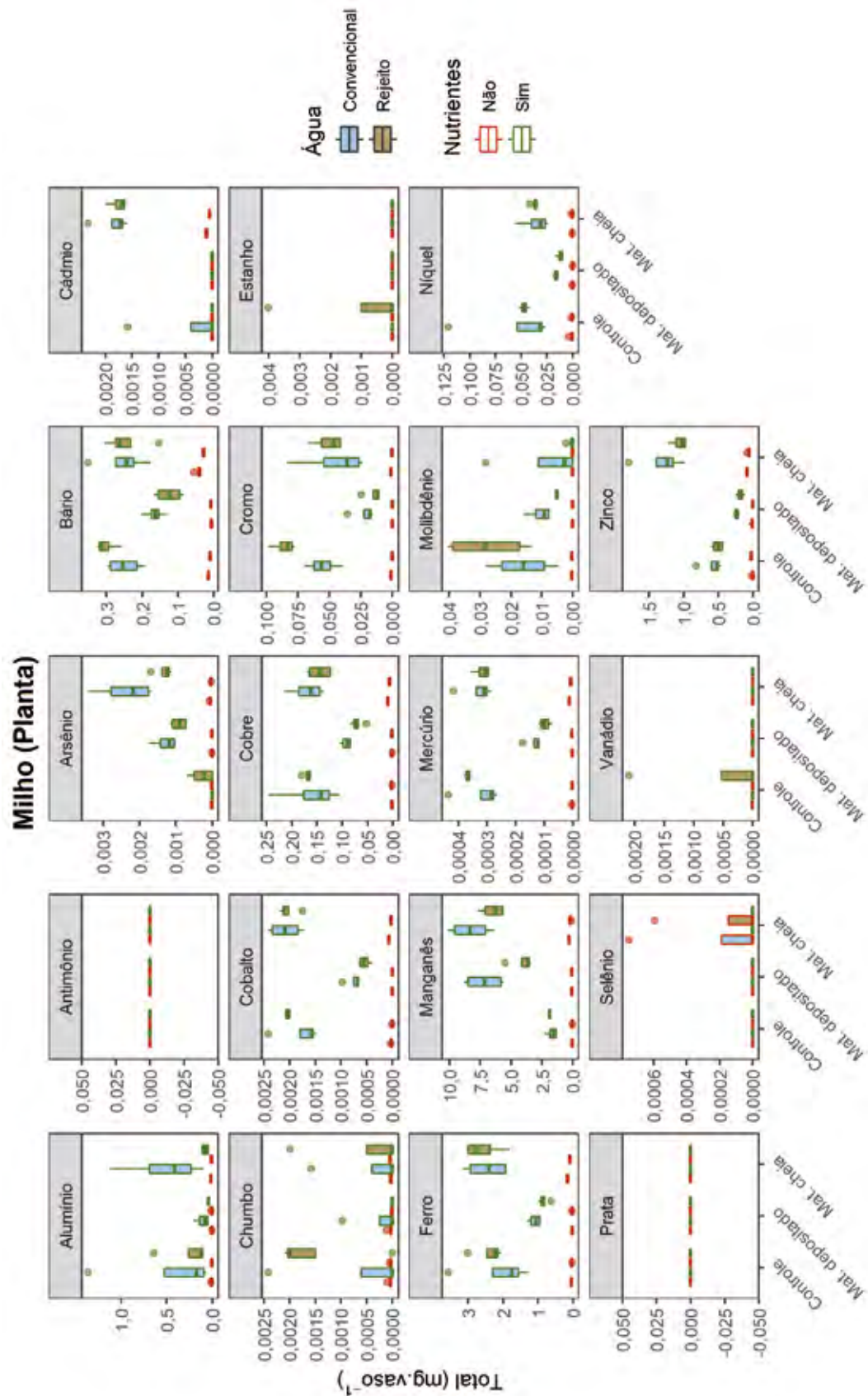


Figura 147 – Conteúdo de elementos potencialmente tóxicos extraídos pela parte área do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.) cultivado no experimento.

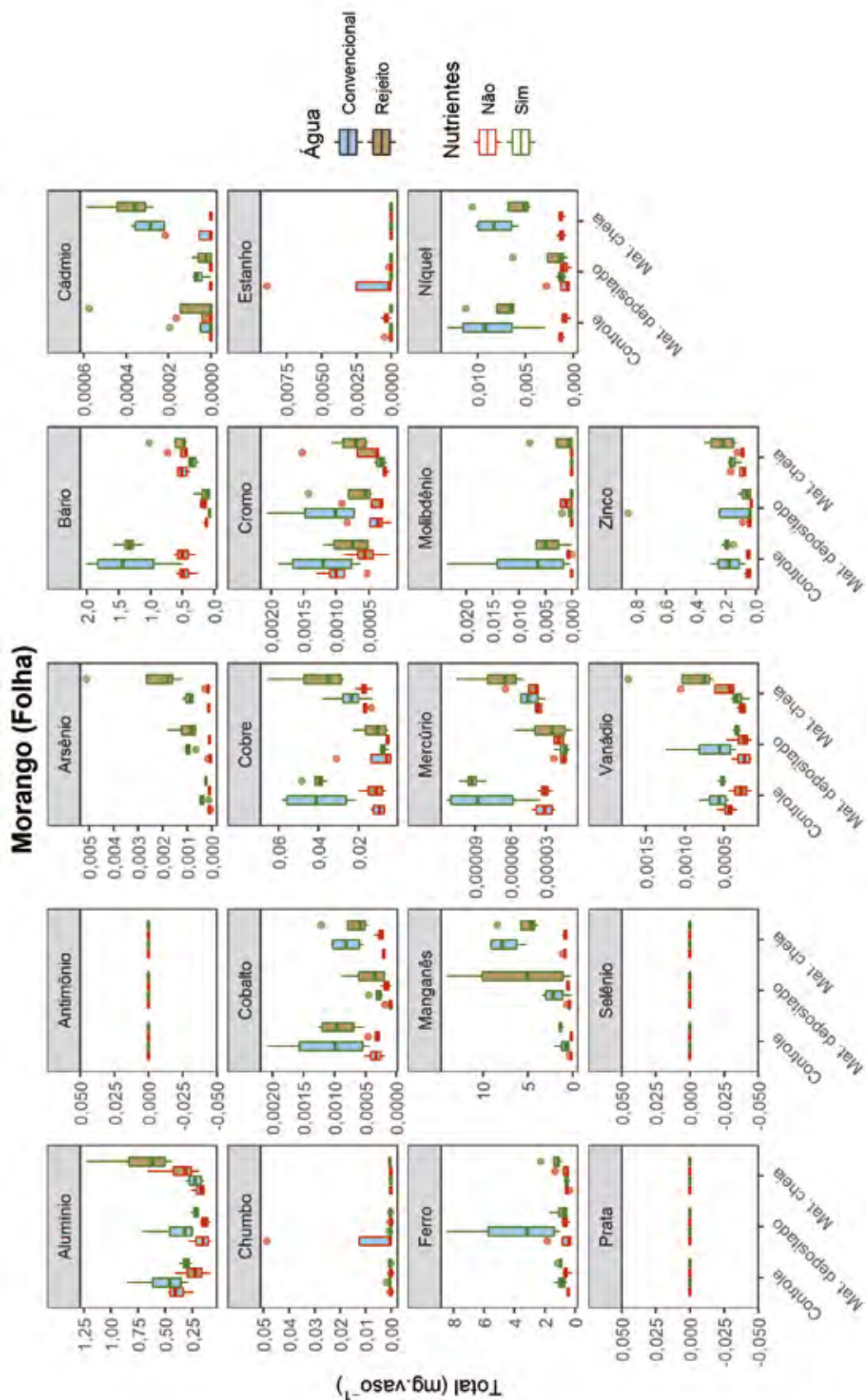


Figura 148 – Conteúdo de elementos potencialmente tóxicos extraídos pelas infrutescências do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.) cultivado no experimento.

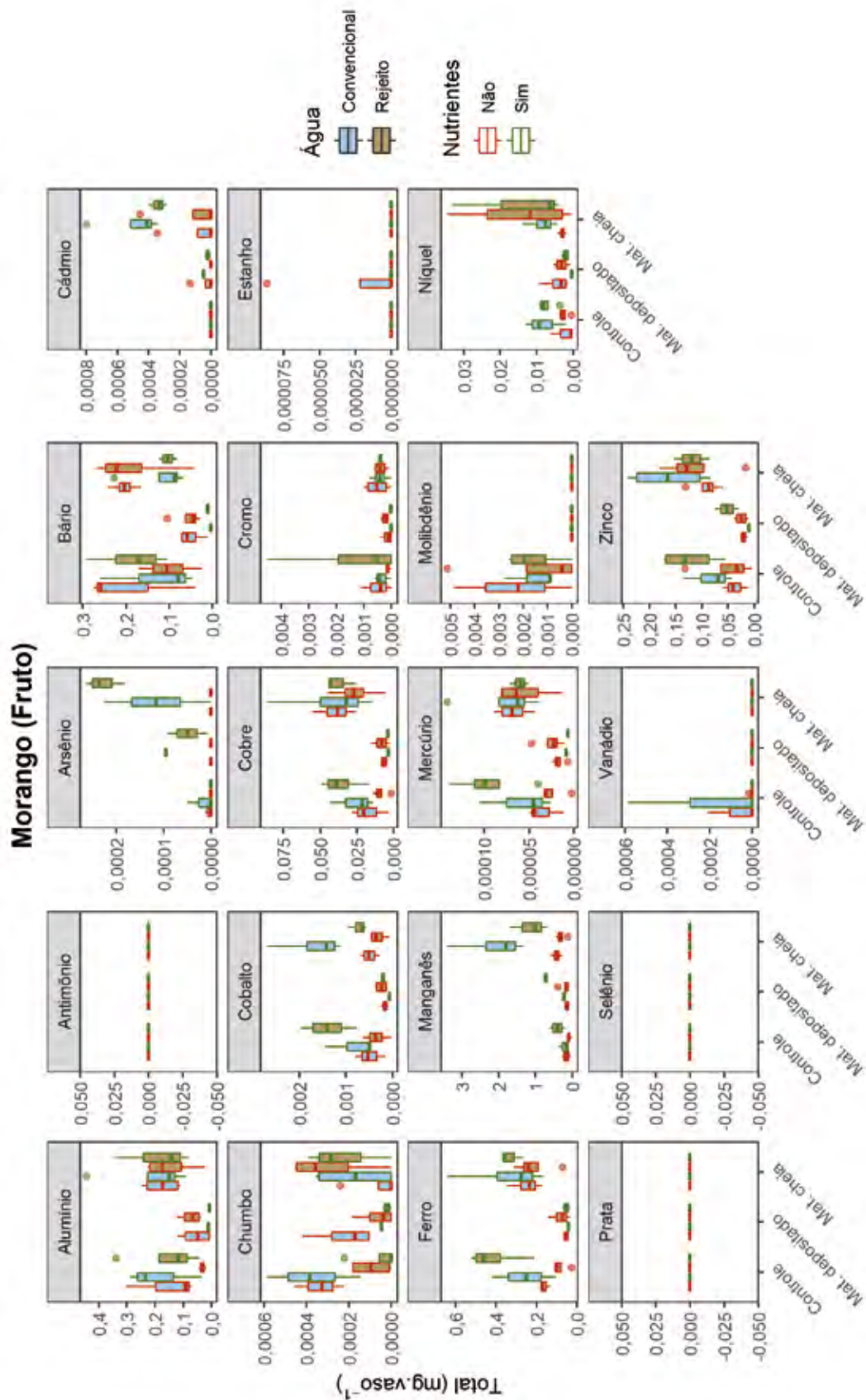
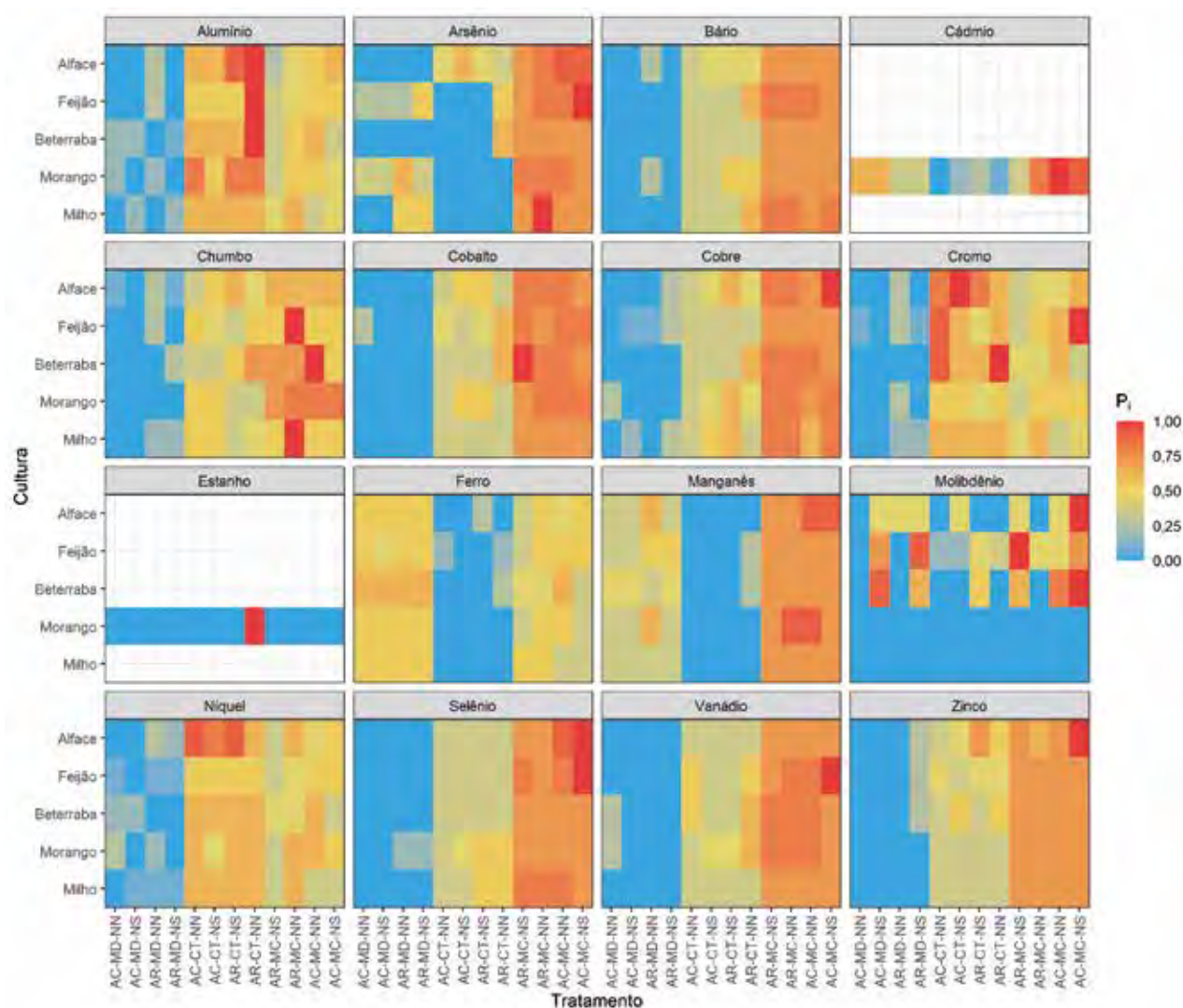


Figura 149 – Heatmap para os teores pseudo totais de elementos potencialmente tóxicos analisados nos substratos dos vasos ao final do experimento de casa de vegetação. Cores iguais (em cada linha) indicam que os tratamentos pertencem ao mesmo grupo e não diferem entre si.



Em cada linha e para cada variável, foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis e calculado o escore, controlando o erro para as comparações múltiplas. A ordenação, tanto dos tratamentos, quanto das culturas, foi feita com base na média dos valores de . AC: água controle; AR: água rejeito; MD; material depositado; MC: material cheia; CT: solo controle; NN: nutrientes – não; NS: nutrientes – sim.

Figura 150 – Teores pseudo totais de elementos potencialmente tóxicos nos substratos dos vasos da alfaca ao final do experimento.

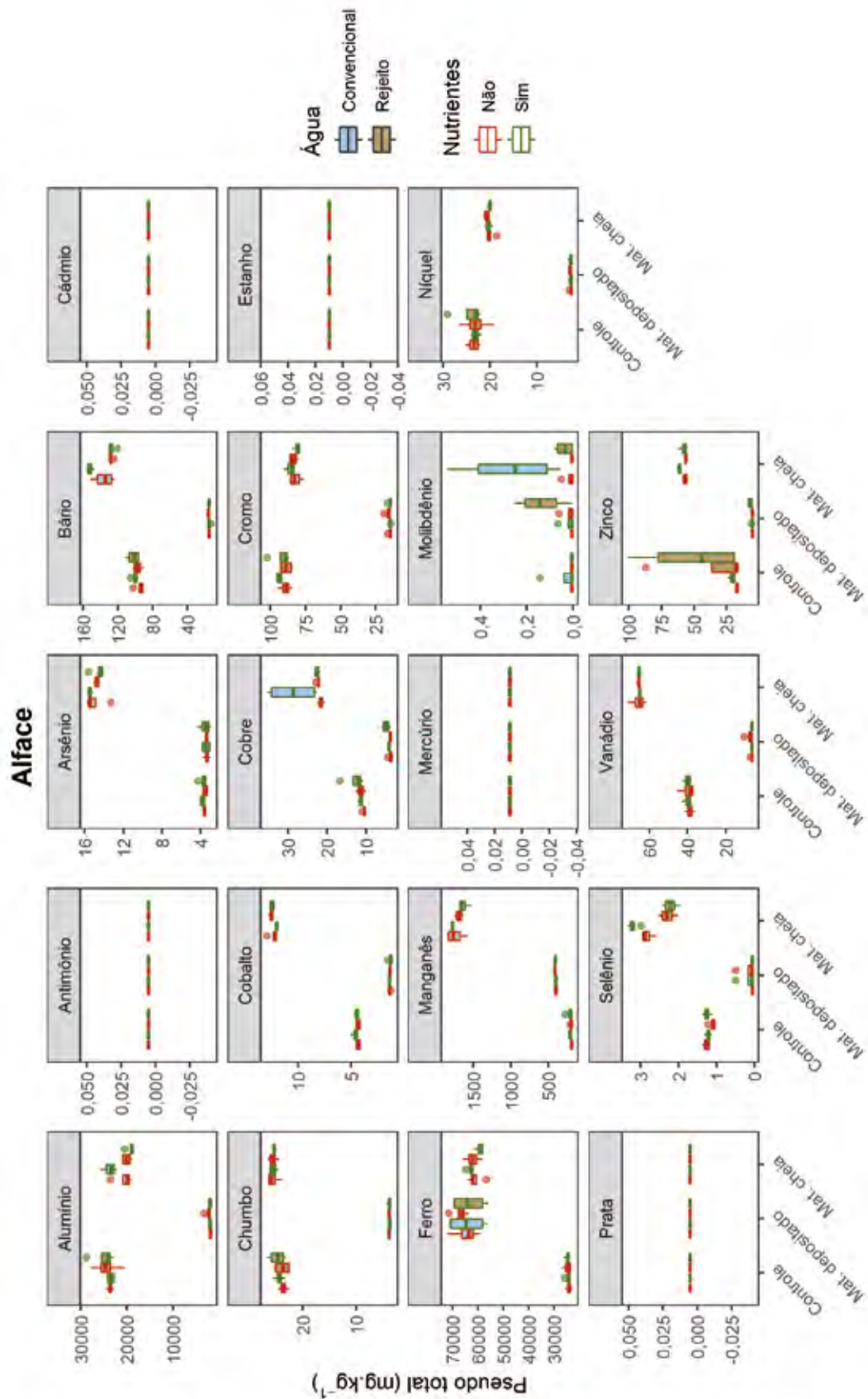


Figura 151 – Teores pseudo totais de elementos potencialmente tóxicos nos substratos dos vasos da beterraba ao final do experimento.

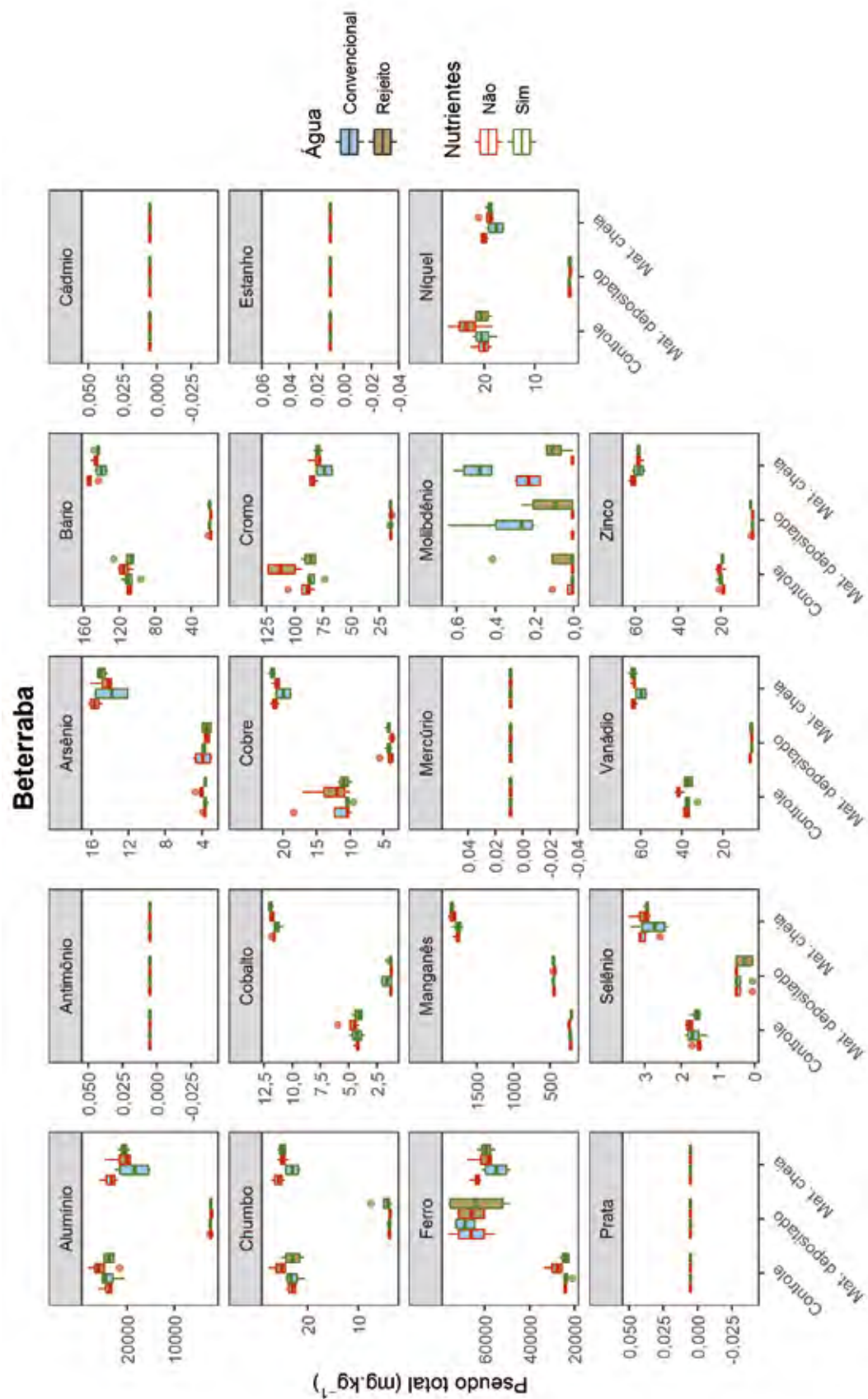


Figura 152 – Teores pseudo totais de elementos potencialmente tóxicos nos substratos dos vasos do feijoeiro ao final do experimento.

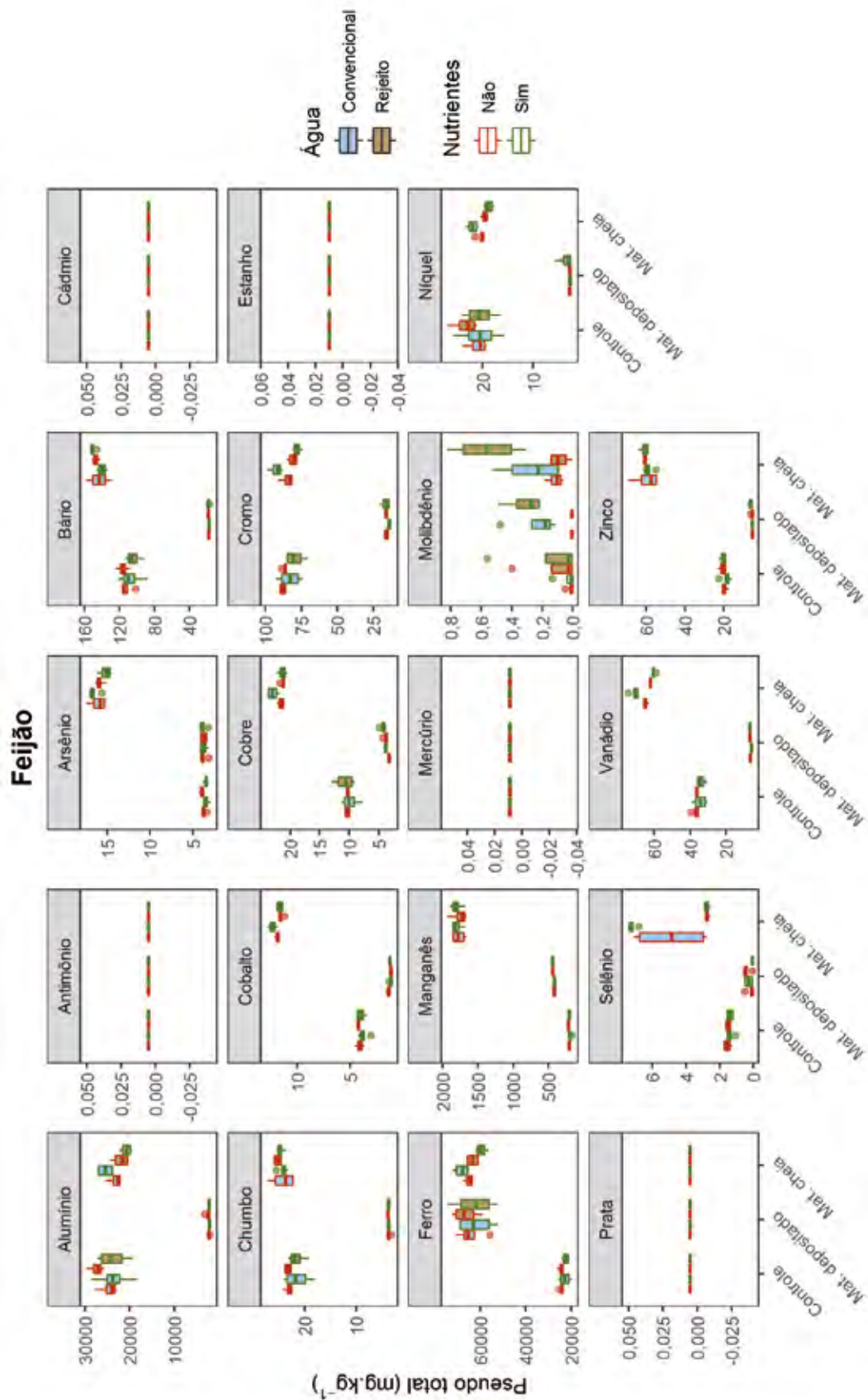


Figura 153 – Teores pseudo totais de elementos potencialmente tóxicos nos substratos dos vasos do milho ao final do experimento.

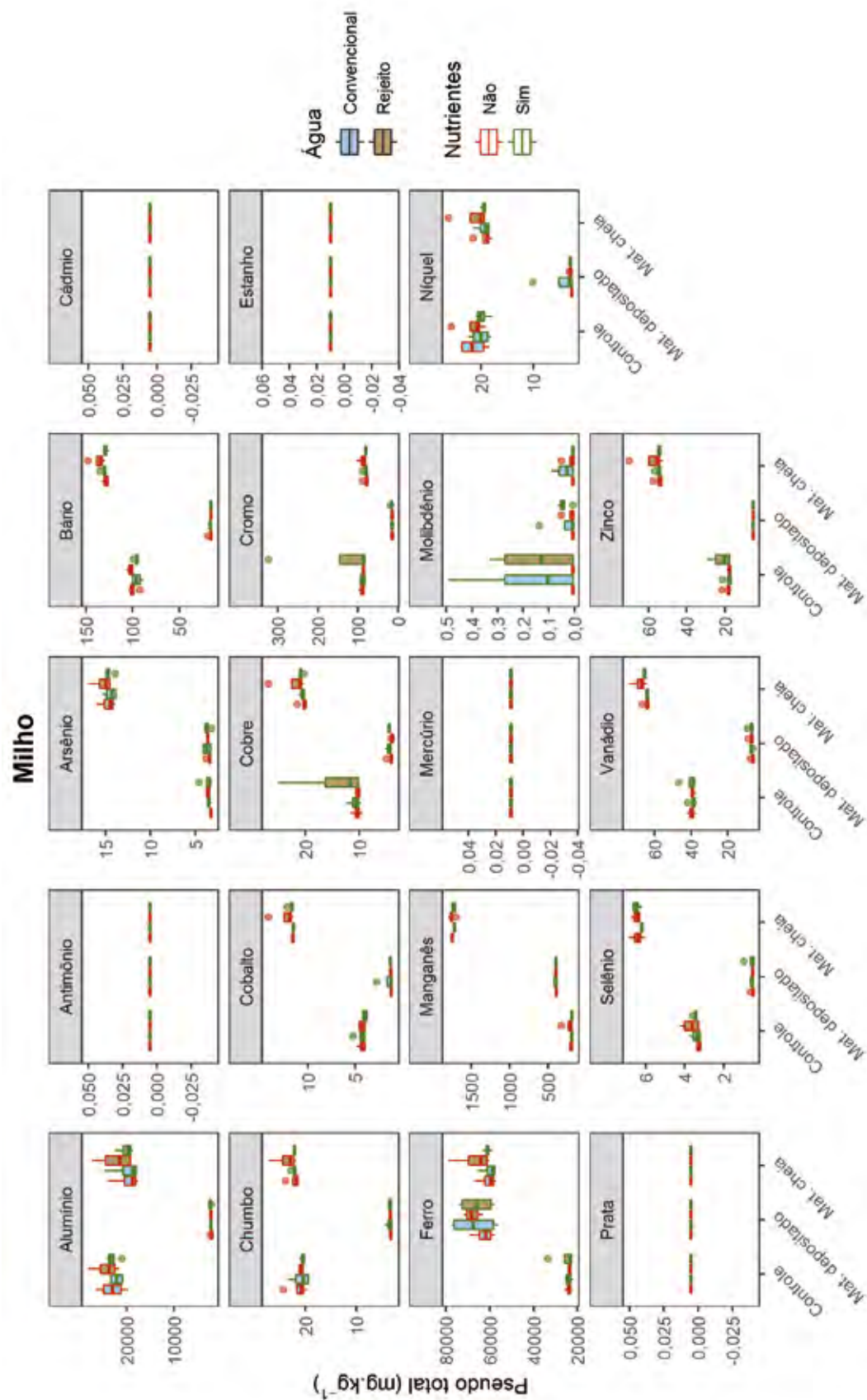
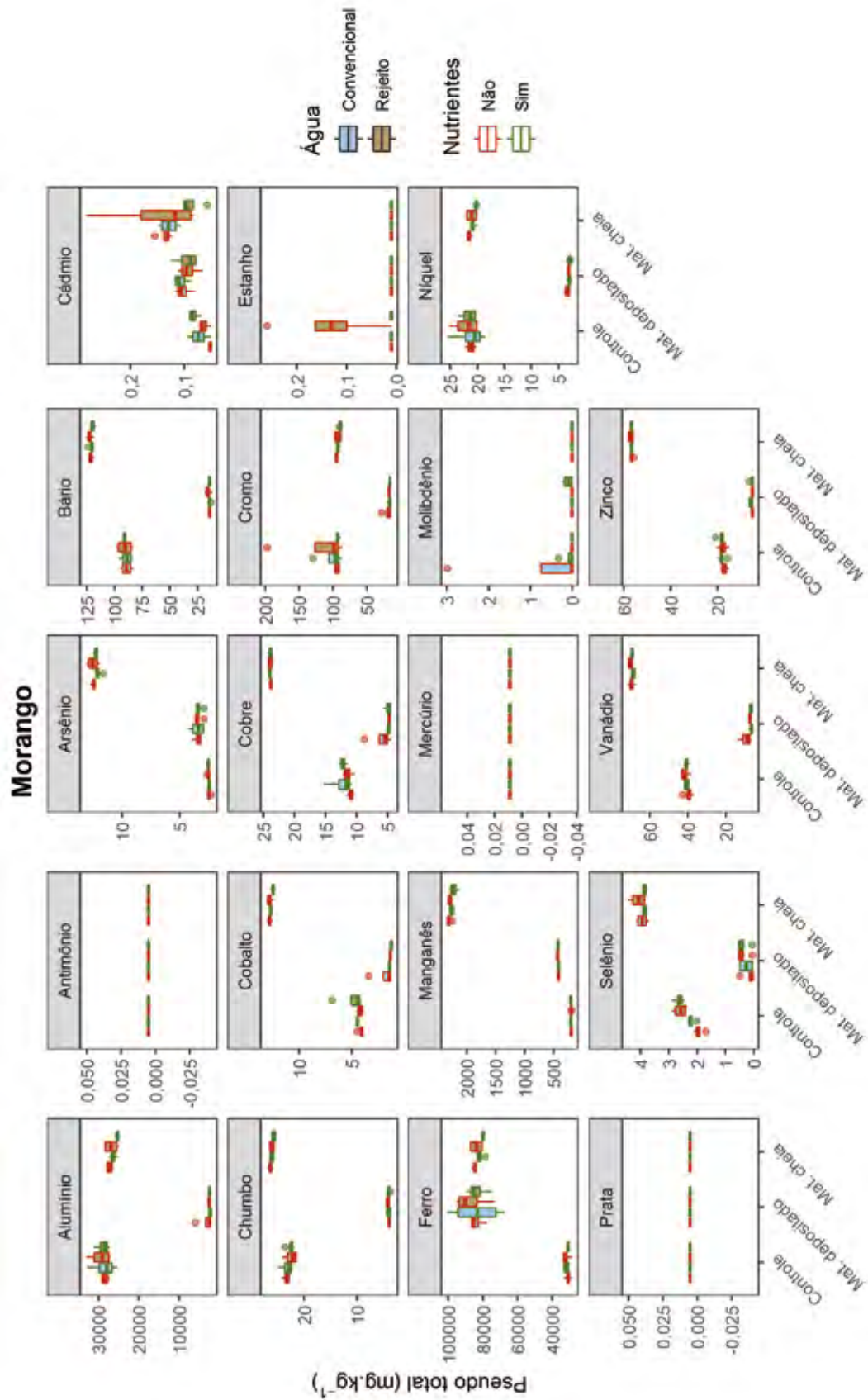


Figura 154 – Teores pseudo totais de elementos potencialmente tóxicos nos substratos dos vasos do morangueiro ao final do experimento.



Os maiores teores medianos pseudo totais de Al no CT e no MC em relação ao MD (Figura 149 a Figura 154) corrobora a discussão da maior mistura dos rejeitos com solos e sedimentos pré-existent antes do desastre, e que essa miscelânea é o que se depositou durante a cheia de janeiro de 2016 nas manchas de inundação dos Compartimentos 2, 3 e 4. Como o solo controle apresenta maiores teores pseudo totais de Pb, a mistura com esse material elevou os teores desse elemento no MC em relação ao MD. O mesmo se verifica para o Ba e o Cr. Existe forte associação geoquímica entre Al, K e Ba, que são conhecidos como elementos litófilos (ALBARÈDE, 2011). Esses elementos são abundantes nos feldspatos potássicos dos solos controle. O Cr também se associa fortemente aos minerais aluminossilicatos.

Os teores pseudototais de EPTs nas matrizes dos vasos permitiu identificar que o fator preponderante para observar os padrões foram os materiais utilizados como substratos para o crescimento das plantas. Novamente, observa-se que a água de irrigação que simula o uso da água bruta do rio Doce não influenciou nos EPTs do solo, considerando um ciclo de cultivo de hortaliças (de 30 dias a 4 meses, dependendo da espécie).

Os resultados obtidos no experimento corroboram os dados de campo, tanto no que se refere à região de montante da bacia, onde se formou o Tecnossolo, quanto aos dados apresentados neste relatório, para os solos das manchas de inundação dos Compartimentos 2, 3 e 4. A partir da verificação integrada de todos os indicadores, ficou evidente de que os solos afetados nas várzeas das regiões à jusante da UHE Risoleta Neves apresentam teores de EPTs mais elevados do que os encontrados no Tecnossolo, mas considerando a comparação com as linhas bases, identificou-se contaminação apenas para As e Mn. Do ponto de vista de prejuízos ao desenvolvimento vegetal, bem como da possibilidade de entrada desses EPTs na cadeia trófica a partir do consumo das pastagens da região por bovinos, os elementos Fe e Mn continuam sendo os únicos que apresentaram risco ambiental. Apesar de *a priori* não ter sido detectada contaminação de Fe nos solos, o mesmo (juntamente com o Mn) possui alta biodisponibilidade e, juntos, apresentam potencial de toxicidade às plantas e animais de criação. É importante ressaltar, no entanto, que o solo não é apenas substrato para crescimento de plantas, mas antes possui uma série de funções que incluem interações diretas com os seres humanos. Nesse sentido, as interpretações aqui apresentadas não incluem, por exemplo, o potencial de dano por ingestão acidental de solo, contato dérmico ou mesmo por inalação de partículas por meio de poeiras. Considerando que os solos dessas regiões já apresentavam teores de EPTs elevados antes do desastre, e que os teores de As e Mn foram aumentados ainda mais após o desastre, é necessário que novos estudos envolvendo os riscos de exposição por ingestão direta do solo, contato dérmico ou por inalação sejam investigados.

O experimento de casa de vegetação permitiu verificar a possibilidade de entrada de EPTs na cadeia trófica a partir da ingestão dos vegetais cultivados nos diferentes arranjos de tratamentos. Usando três cenários, de acordo com o consumo ou aquisição de brasileiros da área rural ou de moradores de Minas Gerais, para alface, beterraba (folha e tubérculo) e morango (IBGE, 2011; 2020), foi possível calcular as porcentagens de ingestão de EPTs por meio da simulação de consumo dos vegetais colhidos no experimento, comparativamente com os respectivos limites diários permitidos de acordo com órgãos ambientais nacionais e internacionais (CETESB, 2020; CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION, 2016; CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION, 2019; USEPA, 2020). Os resultados estão apresentados na Tabela 16 a Tabela 18.

Para todos os EPTs e cenários avaliados, as porcentagens de ingestão não superaram os máximos permitidos em nenhuma situação, ou seja, os resultados das Tabela 16 a Tabela 18 indicam não haver risco de ingestão dos vegetais cultivados, mesmo no rejeito do Compartimento 1 (T3 e T4) ou no material que representa os solos dos Compartimentos 2, 3 e 4 (T5 e T6). Os valores máximos atingidos foram para o Mn nas folhas da beterraba, desenvolvida no MC. No cenário baseado no consumo da população rural do Brasil, uma pessoa que se alimentasse de folhas de beterraba cultivada no MC, teria ingerido cerca de 16% do máximo permitido para Mn em sua dieta diária. Com relação a outros EPTs, que não possuem nenhuma função biológica, como As, Cd, Hg e Pb, a porcentagem de ingestão não ultrapassou 1,1% do limite de ingestão diário para esses elementos, dentre todos os casos. Essa situação difere do consumo de pescados (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2019f; BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020I), pois as quantidades de consumo e aquisição diários de vegetais apontados por IBGE (2011; 2020) são bastante inferiores ao considerado para pescados (60 e 309 g). A ingestão máxima diária considerada foi de morango, com consumo de 9,1 g por dia.

Nesse sentido, na Tabela 19 estão apresentadas as quantidades necessárias de cada vegetal para atingir 100% dos limites diários permitidos de ingestão de EPTs para alface, beterraba (folha e tubérculo) e morango colhidos no experimento. Como se pode observar, as quantidades são exorbitantes (seriam necessários, para alguns EPTs, ingerir alguns quilogramas do vegetal para atingir o máximo permitido por dia). De maneira geral, o elemento que foi mais restritivo entre todos foi o Mn, com exceção à Ag e Co para alguns tratamentos do solo controle. Por exemplo, a ingestão de 40 gramas das folhas de beterraba (em massa fresca) desenvolvidas no MC com água de irrigação com rejeito diluído (tratamentos ART5 e ART6), poderia levar à saturação de consumo diário de Mn. Para EPTs com maior toxicidade, como As, Cd, Cr, Hg e Pb, a ingestão de saturação dessas espécies e partes comestíveis varia entre 490 g e 220 kg de material fresco.

Tabela 16 – Porcentagem de ingestão dos limites diários permitidos de EPTs no cenário de consumo de alface, beterraba (tubérculo e folha) e morango no meio rural (IBGE, 2011; 2020).

CENÁRIO 1 – Consumo Rural																		
CULTURA	%	Al	Ag	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Mo	Pb	Sb	Se	Sn	Zn	Co
ALFACE	ART1	0,04	1,71	0,01	0,05	0,01	0,02	0,05	0,06	0,01	0,12	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02	0,03
	ART2	0,01	0,45	0,00	0,02	0,00	0,01	0,03	0,05	0,00	0,20	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,04	0,01
	ART3	0,03	0,79	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,12	0,01	0,37	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02	0,03
	ART4	0,01	0,21	0,00	0,02	0,00	1,26	0,06	0,08	0,00	1,75	0,06	0,00	0,02	0,01	0,00	0,03	0,01
	ART5	0,18	0,18	0,00	0,06	0,01	0,04	0,05	0,08	0,01	0,92	0,00	0,03	0,01	0,01	0,00	0,07	0,02
	ART6	0,01	0,07	0,00	0,01	0,00	0,01	0,04	0,02	0,00	1,62	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,03	0,01
	ACT1	0,07	0,07	0,00	0,04	0,01	0,02	0,04	0,02	0,01	0,10	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02
	ACT2	0,01	0,03	0,00	0,02	0,00	0,01	0,03	0,04	0,00	0,17	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,04	0,01
	ACT3	0,05	0,00	0,01	0,02	0,01	0,02	0,04	0,18	0,01	0,41	0,02	0,00	0,04	0,03	0,00	0,02	0,03
	ACT4	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,04	0,04	0,00	2,08	0,04	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01
	ACT5	0,08	0,00	0,00	0,06	0,01	0,02	0,06	0,05	0,01	1,13	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00	0,07	0,02
	ACT6	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00	0,98	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,03	0,01
BETERRABA TUBÉRCULO	ART2	0,02	0,20	0,02	0,29	0,06	0,02	0,29	0,07	0,02	0,48	0,00	0,04	0,04	0,05	0,00	0,16	0,72
	ART4	0,33	0,65	1,01	0,39	0,26	0,91	1,14	0,76	0,07	6,67	0,15	0,05	0,16	0,13	0,00	0,34	3,57
	ART6	0,07	0,20	0,10	0,27	0,20	0,03	0,49	0,12	0,03	3,47	0,01	0,02	0,06	0,05	0,00	0,22	2,58
	ACT2	0,16	1,48	0,03	0,34	0,06	0,10	0,01	0,11	0,03	0,46	0,00	0,02	0,06	0,05	0,00	0,19	0,90
	ACT4	0,38	2,07	1,11	0,42	0,40	0,02	0,02	1,09	0,07	7,03	1,18	0,03	0,17	0,14	0,00	0,30	6,79
	ACT6	0,13	0,56	0,15	0,34	0,21	0,01	0,01	0,12	0,03	3,99	0,00	0,01	0,06	0,05	0,00	0,25	2,74

CENÁRIO 1 – Consumo Rural

CULTURA	%	Al	Ag	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Mo	Pb	Sb	Se	Sn	Zn	Co
BETERRABA FOLHA	ART1	0,41	0,00	0,01	0,47	0,02	0,08	0,30	0,21	0,02	0,92	0,14	0,01	0,04	0,05	0,00	0,10	0,06
	ART2	0,21	0,56	0,05	0,66	0,07	0,05	0,29	0,15	0,01	1,58	0,24	0,03	0,03	0,05	0,00	0,29	0,73
	ART3	0,84	3,23	0,60	1,02	0,36	0,28	0,56	2,94	0,05	9,27	0,39	0,09	0,11	0,17	0,00	0,17	1,55
	ART4	0,08	0,67	0,25	0,27	0,10	0,05	0,27	0,28	0,01	8,86	0,35	0,01	0,03	0,03	0,00	0,08	1,07
	ART5	0,32	0,63	0,87	1,31	0,59	0,06	0,44	0,31	0,02	15,61	0,04	0,06	0,10	0,15	0,00	0,30	3,98
	ART6	0,17	0,39	0,13	0,42	0,46	0,05	0,32	0,14	0,01	16,53	0,17	0,02	0,03	0,05	0,00	0,29	3,14
	ACT1	0,35	0,48	0,13	0,60	0,08	0,07	0,30	0,14	0,02	0,64	0,01	0,04	0,05	0,06	0,00	0,09	0,39
	ACT2	0,10	0,32	0,05	0,62	0,09	0,04	0,26	0,10	0,01	1,15	0,19	0,02	0,03	0,04	0,00	0,22	0,77
	ACT3	0,56	0,79	0,63	1,07	0,36	0,22	0,65	1,83	0,04	8,58	0,68	0,07	0,09	0,15	0,00	0,20	1,65
	ACT4	0,12	0,20	0,30	0,19	0,09	0,07	0,21	0,42	0,01	4,29	0,46	0,01	0,10	0,03	0,00	0,07	1,14
	ACT5	0,15	0,21	0,39	0,84	0,43	0,04	0,37	0,17	0,01	8,82	0,01	0,03	0,04	0,08	0,00	0,20	2,09
	ACT6	0,09	0,12	0,10	0,39	0,33	0,06	0,25	0,11	0,01	13,24	0,16	0,01	0,03	0,04	0,00	0,22	2,67
MORANGO	ART1	0,15	0,00	0,02	0,39	0,03	0,08	0,17	0,11	0,03	0,37	0,12	0,02	0,06	0,05	0,00	0,09	0,66
	ART2	0,06	0,00	0,01	0,12	0,02	0,06	0,12	0,08	0,02	0,37	0,07	0,01	0,05	0,04	0,00	0,05	0,63
	ART3	0,15	0,00	0,02	0,16	0,03	0,04	0,11	0,06	0,02	0,77	0,00	0,02	0,06	0,05	0,00	0,05	0,50
	ART4	0,05	0,01	0,41	0,12	0,07	0,02	0,22	0,18	0,03	11,79	0,01	0,02	0,07	0,05	0,00	0,39	1,61
	ART5	0,11	0,00	0,01	0,23	0,04	0,03	0,16	0,08	0,02	0,63	0,00	0,02	0,05	0,04	0,00	0,09	0,24
	ART6	0,14	0,00	0,16	0,11	0,09	0,03	0,20	0,10	0,02	1,63	0,00	0,02	0,05	0,04	0,00	0,08	0,50
	ACT1	0,51	0,00	0,03	0,35	0,03	0,17	0,16	0,15	0,02	0,40	0,14	0,05	0,06	0,05	0,00	0,05	0,66
	ACT2	0,14	0,00	0,03	0,13	0,03	0,02	0,15	0,08	0,02	0,36	0,09	0,02	0,05	0,04	0,00	0,06	0,63
	ACT3	0,13	0,00	0,02	0,27	0,05	0,04	0,15	0,08	0,03	1,10	0,00	0,09	0,06	0,05	0,00	0,07	0,51
	ACT4	0,06	0,00	0,55	0,03	0,10	0,01	0,16	0,11	0,03	2,84	0,00	0,02	0,06	0,05	0,00	0,06	0,44
	ACT5	0,12	0,00	0,01	0,20	0,04	0,03	0,18	0,07	0,02	0,58	0,00	0,01	0,05	0,04	0,00	0,06	0,31
	ACT6	0,12	0,00	0,07	0,10	0,11	0,03	0,15	0,08	0,02	2,64	0,00	0,01	0,05	0,04	0,00	0,10	0,97

AR: água com rejeito; AC: água convencional; T1: solo controle sem adição de nutrientes; T2: solo controle com adição de nutrientes; T3: rejeito depositado no Compartmento 1 sem adição de nutrientes; T4: rejeito depositado no Compartmento 1 com adição de nutrientes; T5: material que representa os solos das manchas dos Compartmentos 2, 3 e 4 sem adição de nutrientes; T6: material que representa os solos das manchas dos Compartmentos 2, 3 e 4 com sem adição de nutrientes.
Faixas de valores das porcentagens de ingestão diárias: até 50% do limite de ingestão diária: cor verde; entre 50 e 100% do limite de ingestão diária: cor amarela; e acima de 100% do limite de ingestão diária: cor vermelha.

Tabela 17 – Porcentagem de ingestão dos limites diários permitidos de EPTs no cenário de aquisição de alface, beterraba (tubérculo e folha) e morango no meio rural (IBGE, 2011; 2020).

CENÁRIO 2 – Aquisição Rural																		
CULTURA	%	Al	Ag	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Mo	Pb	Sb	Se	Sn	Zn	Co
ALFACE	ART1	0,06	2,31	0,01	0,06	0,01	0,02	0,07	0,08	0,01	0,16	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00	0,03	0,04
	ART2	0,01	0,60	0,00	0,03	0,01	0,01	0,04	0,07	0,00	0,26	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,05	0,01
	ART3	0,04	1,07	0,01	0,02	0,01	0,02	0,05	0,17	0,01	0,50	0,01	0,01	0,03	0,03	0,00	0,02	0,03
	ART4	0,01	0,28	0,00	0,02	0,01	1,70	0,08	0,10	0,01	2,37	0,08	0,00	0,02	0,01	0,00	0,04	0,02
	ART5	0,24	0,25	0,01	0,09	0,01	0,06	0,07	0,11	0,01	1,25	0,00	0,04	0,02	0,02	0,00	0,09	0,03
	ART6	0,02	0,09	0,00	0,02	0,01	0,01	0,05	0,03	0,00	2,20	0,03	0,00	0,01	0,02	0,00	0,05	0,01
	ACT1	0,10	0,09	0,01	0,06	0,01	0,02	0,05	0,03	0,01	0,13	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00	0,03	0,03
	ACT2	0,01	0,04	0,00	0,03	0,01	0,01	0,03	0,05	0,00	0,22	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,05	0,01
	ACT3	0,06	0,00	0,01	0,03	0,02	0,03	0,06	0,24	0,01	0,55	0,03	0,00	0,05	0,04	0,00	0,02	0,04
	ACT4	0,01	0,00	0,00	0,03	0,01	0,01	0,05	0,05	0,01	2,81	0,05	0,00	0,01	0,01	0,00	0,03	0,02
	ACT5	0,11	0,00	0,01	0,08	0,01	0,02	0,08	0,07	0,01	1,53	0,00	0,00	0,02	0,05	0,00	0,09	0,03
	ACT6	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,04	0,03	0,00	1,33	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,04	0,01
BETERRABA TUBÉRCULO	ART2	0,01	0,05	0,00	0,07	0,01	0,01	0,07	0,02	0,00	0,12	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,04	0,17
	ART4	0,08	0,16	0,24	0,09	0,06	0,22	0,27	0,18	0,02	1,59	0,04	0,01	0,04	0,03	0,00	0,08	0,85
	ART6	0,02	0,05	0,02	0,07	0,05	0,01	0,12	0,03	0,01	0,83	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,05	0,61
	ACT2	0,04	0,35	0,01	0,08	0,02	0,02	0,00	0,03	0,01	0,11	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,04	0,21
	ACT4	0,09	0,49	0,26	0,10	0,10	0,01	0,00	0,26	0,02	1,67	0,28	0,01	0,04	0,03	0,00	0,07	1,61
	ACT6	0,03	0,13	0,04	0,08	0,05	0,00	0,00	0,03	0,01	0,95	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,06	0,65

CENÁRIO 2 – Aquisição Rural

CULTURA	%	Al	Ag	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Mo	Pb	Sb	Se	Sn	Zn	Co
BETERRABA FOLHA	ART1	0,10	0,00	0,00	0,11	0,00	0,02	0,07	0,05	0,00	0,22	0,03	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01
	ART2	0,05	0,13	0,01	0,16	0,02	0,01	0,07	0,04	0,00	0,38	0,06	0,01	0,01	0,01	0,00	0,07	0,17
	ART3	0,20	0,77	0,14	0,24	0,09	0,07	0,13	0,70	0,01	2,20	0,09	0,02	0,03	0,04	0,00	0,04	0,37
	ART4	0,02	0,16	0,06	0,06	0,02	0,01	0,06	0,07	0,00	2,11	0,08	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02	0,25
	ART5	0,08	0,15	0,21	0,31	0,14	0,01	0,10	0,07	0,00	3,71	0,01	0,01	0,02	0,04	0,00	0,07	0,95
	ART6	0,04	0,09	0,03	0,10	0,11	0,01	0,08	0,03	0,00	3,93	0,04	0,01	0,01	0,01	0,00	0,07	0,75
	ACT1	0,08	0,11	0,03	0,14	0,02	0,02	0,07	0,03	0,00	0,15	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,09
	ACT2	0,02	0,08	0,01	0,15	0,02	0,01	0,06	0,02	0,00	0,27	0,05	0,00	0,01	0,01	0,00	0,05	0,18
	ACT3	0,13	0,19	0,15	0,25	0,08	0,05	0,15	0,43	0,01	2,04	0,16	0,02	0,02	0,04	0,00	0,05	0,39
	ACT4	0,03	0,05	0,07	0,05	0,02	0,02	0,05	0,10	0,00	1,02	0,11	0,00	0,02	0,01	0,00	0,02	0,27
	ACT5	0,04	0,05	0,09	0,20	0,10	0,01	0,09	0,04	0,00	2,10	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,05	0,50
	ACT6	0,02	0,03	0,02	0,09	0,08	0,01	0,06	0,03	0,00	3,15	0,04	0,00	0,01	0,01	0,00	0,05	0,63
MORANGO	ART1	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	ART2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	ART3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
	ART4	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04
	ART5	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
	ART6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
	ACT1	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	ACT2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	ACT3	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
	ACT4	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
	ACT5	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
	ACT6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02

AR: água com rejeito; AC: água convencional; T1: solo controle sem adição de nutrientes; T2: solo controle com adição de nutrientes; T3: rejeito depositado no Compartimento 1 sem adição de nutrientes; T4: rejeito depositado no Compartimento 1 com adição de nutrientes; T5: material que representa os solos das manchas dos Compartimentos 2, 3 e 4 sem adição de nutrientes; T6: material que representa os solos das manchas dos Compartimentos 2, 3 e 4 com sem adição de nutrientes. Faixas de valores das porcentagens de ingestão diárias: até 50% do limite de ingestão diária: cor verde; entre 50 e 100% do limite de ingestão diária: cor amarela; e acima de 100% do limite de ingestão diária: cor vermelha.

Tabela 18 – Porcentagem de ingestão dos limites diários permitidos de EPTs no cenário de aquisição de alface, beterraba (tubérculo e folha) e morango em Minas Gerais (IBGE, 2011; 2020).

CENÁRIO 3 – Aquisição Minas Gerais																			
CULTURA	%	Al	Ag	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Mo	Pb	Sb	Se	Sn	Zn	Co	
ALFACE	ART1	0,05	2,08	0,01	0,06	0,01	0,02	0,06	0,07	0,01	0,15	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,03	0,03	
	ART2	0,01	0,54	0,00	0,02	0,00	0,01	0,04	0,06	0,00	0,24	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,04	0,01	
	ART3	0,04	0,96	0,01	0,02	0,01	0,02	0,04	0,15	0,01	0,45	0,01	0,00	0,02	0,03	0,00	0,02	0,03	
	ART4	0,01	0,25	0,00	0,02	0,01	1,53	0,07	0,09	0,00	2,13	0,07	0,00	0,02	0,01	0,00	0,04	0,02	
	ART5	0,22	0,22	0,00	0,08	0,01	0,05	0,06	0,10	0,01	1,12	0,00	0,04	0,02	0,01	0,00	0,08	0,02	
	ART6	0,02	0,08	0,00	0,01	0,00	0,01	0,04	0,03	0,00	1,97	0,03	0,00	0,01	0,01	0,00	0,04	0,01	
	ACT1	0,09	0,09	0,01	0,05	0,01	0,02	0,05	0,03	0,01	0,12	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00	0,02	0,03	
	ACT2	0,01	0,04	0,00	0,02	0,00	0,01	0,03	0,04	0,00	0,20	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,05	0,01	
	ACT3	0,06	0,00	0,01	0,02	0,01	0,03	0,05	0,22	0,01	0,50	0,02	0,00	0,04	0,03	0,00	0,02	0,04	
	ACT4	0,01	0,00	0,00	0,03	0,01	0,01	0,05	0,05	0,00	2,53	0,05	0,00	0,01	0,01	0,00	0,03	0,02	
	ACT5	0,10	0,00	0,00	0,07	0,01	0,02	0,07	0,07	0,01	1,38	0,00	0,00	0,02	0,02	0,05	0,00	0,08	0,02
	ACT6	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,04	0,02	0,00	1,19	0,03	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	
BETERRABA TUBÉRCULO	ART2	0,01	0,06	0,01	0,08	0,02	0,01	0,08	0,02	0,01	0,14	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,05	0,21	
	ART4	0,09	0,19	0,29	0,11	0,07	0,26	0,33	0,22	0,02	1,93	0,04	0,01	0,05	0,04	0,00	0,10	1,03	
	ART6	0,02	0,06	0,03	0,08	0,06	0,01	0,14	0,04	0,01	1,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,06	0,75	
	ACT2	0,05	0,43	0,01	0,10	0,02	0,03	0,00	0,03	0,01	0,13	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,05	0,26	
	ACT4	0,11	0,60	0,32	0,12	0,12	0,01	0,00	0,31	0,02	2,03	0,34	0,01	0,05	0,04	0,00	0,09	1,96	
	ACT6	0,04	0,16	0,04	0,10	0,06	0,00	0,00	0,04	0,01	1,15	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,07	0,79	

CENÁRIO 3 – Aquisição Minas Gerais

CULTURA	%	Al	Ag	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Mo	Pb	Sb	Se	Sn	Zn	Co
BETERRABA FOLHA	ART1	0,12	0,00	0,00	0,13	0,01	0,02	0,09	0,06	0,01	0,27	0,04	0,00	0,01	0,02	0,00	0,03	0,02
	ART2	0,06	0,16	0,01	0,19	0,02	0,01	0,08	0,04	0,00	0,46	0,07	0,01	0,01	0,01	0,00	0,08	0,21
	ART3	0,24	0,93	0,17	0,30	0,10	0,08	0,16	0,85	0,01	2,68	0,11	0,03	0,03	0,05	0,00	0,05	0,45
	ART4	0,02	0,19	0,07	0,08	0,03	0,01	0,08	0,08	0,00	2,56	0,10	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02	0,31
	ART5	0,09	0,18	0,25	0,38	0,17	0,02	0,13	0,09	0,00	4,51	0,01	0,02	0,03	0,04	0,00	0,09	1,15
	ART6	0,05	0,11	0,04	0,12	0,13	0,02	0,09	0,04	0,00	4,78	0,05	0,01	0,01	0,01	0,00	0,08	0,91
	ACT1	0,10	0,14	0,04	0,17	0,02	0,02	0,09	0,04	0,01	0,18	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,03	0,11
	ACT2	0,03	0,09	0,02	0,18	0,03	0,01	0,08	0,03	0,00	0,33	0,05	0,01	0,01	0,01	0,00	0,06	0,22
	ACT3	0,16	0,23	0,18	0,31	0,10	0,06	0,19	0,53	0,01	2,48	0,20	0,02	0,03	0,04	0,00	0,06	0,48
	ACT4	0,03	0,06	0,09	0,06	0,03	0,02	0,06	0,12	0,00	1,24	0,13	0,00	0,03	0,01	0,00	0,02	0,33
	ACT5	0,04	0,06	0,11	0,24	0,12	0,01	0,11	0,05	0,00	2,55	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,06	0,60
	ACT6	0,02	0,03	0,03	0,11	0,10	0,02	0,07	0,03	0,00	3,83	0,05	0,00	0,01	0,01	0,00	0,06	0,77
MORANGO	ART1	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
	ART2	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
	ART3	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	ART4	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,07
	ART5	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
	ART6	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	ACT1	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
	ACT2	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
	ACT3	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	ACT4	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	ACT5	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
	ACT6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04

AR: água com rejeito; AC: água convencional; T1: solo controle sem adição de nutrientes; T2: solo controle com adição de nutrientes; T3: rejeito depositado no Compartimento 1 sem adição de nutrientes; T4: rejeito depositado no Compartimento 1 com adição de nutrientes; T5: material que representa os solos das manchas dos Compartimentos 2, 3 e 4 sem adição de nutrientes; T6: material que representa os solos das manchas dos Compartimentos 2, 3 e 4 com sem adição de nutrientes. Faixas de valores das porcentagens de ingestão diárias: até 50% do limite de ingestão diária: cor verde; entre 50 e 100% do limite de ingestão diária: cor amarela; e acima de 100% do limite de ingestão diária: cor vermelha.

Tabela 19 – Quantidades (kg) de alface, beterraba (tubérculo e folha) e morango máximos para atingir os limites diários permitidos de ingestão de elementos potencialmente tóxicos.

CULTURA	kg	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Mo	Pb	Sb	Se	Sn	Zn
ALFACE	ART1	0,12	5	38	4	21	8	13	4	3	24	1,69	103	90	10	13	7.549	9
	ART2	0,57	26	98	13	54	20	40	7	5	62	1,42	96	94	26	33	19.598	6
	ART3	0,31	9	39	15	22	8	14	6	1,92	25	0,56	77	77	11	11	7.890	14
	ART4	1,03	60	79	13	44	16	28	4	4	50	0,12	3	188	17	26	13.048	7
	ART5	1,14	1,24	53	3	29	11	6	4	3	33	0,23	175	97	14	18	10.515	3
	ART6	5	15	92	18	51	18	33	6	9	59	0,13	12	220	25	26	18.443	6
	ACT1	40	3	44	5	24	9	13	5	9	28	2,04	145	104	12	12	8.722	11
	ACT2	89	36	97	13	54	19	38	8	9	61	1,66	91	175	26	32	19.345	6
	ACT3	94	9	33	11	18	7	10	5	1,76	21	0,50	81	78	7	9	5.346	12
	ACT4	275	534	83	12	46	17	31	5	7	52	0,10	29	197	22	28	16.510	9
	ACT5	178	3	53	3	30	11	16	4	4	34	0,18	178	127	14	5	10.686	3
	ACT6	343	83	103	21	57	21	45	7	11	65	0,22	11	190	27	34	20.595	7
BETERRABA TUBÉRCULO	ART2	3	46	42	1,95	14	0,75	26	1,91	8	31	1,11	161	15	13	13	9.646	3
	ART4	0,92	7	0,56	1,46	2,10	0,15	4	0,47	0,87	8	0,08	20	14	3	4	2.574	1,60
	ART6	3	9	6	2,19	3	0,23	17	1,12	5	20	0,17	85	23	8	11	6.332	2,46
	ACT2	0,41	4	26	1,59	12	0,62	49	86	5	20	1,17	107	60	9	11	5.281	3
	ACT4	0,28	2	0,49	1,26	1,40	0,10	24	32	0,52	8	0,08	0,61	20	3	4	2.435	1,76
	ACT6	1,03	6	5	1,68	3	0,23	65	86	4	21	0,15	108	77	9	11	6.463	2,15
BETERRABA FOLHA	ART1	157	1,57	47	1,25	26	9	7	1,77	3	30	0,61	47	53	13	13	9.449	5
	ART2	101	3	33	0,84	19	6	13	1,90	4	37	0,34	2,21	47	15	16	7.243	1,87
	ART3	0,26	1,11	1,23	0,65	1,83	0,54	3	1,08	0,29	14	0,07	1,72	8	6	7	2.354	4
	ART4	0,80	7	2,17	2,03	6	0,50	11	2,05	2,04	38	0,06	2,27	67	16	20	12.013	7
	ART5	0,85	2,08	0,88	0,45	1,03	0,17	10	1,22	1,92	33	0,04	88	11	10	4	7.847	1,99
	ART6	1,45	3	4	1,29	1,26	0,19	12	1,70	4	43	0,04	3	39	18	15	13.681	1,87
	ACT1	1,19	2,03	4	0,94	7	1,44	9	1,91	4	27	0,83	117	15	12	12	8.632	7
	ACT2	1,72	6	10	0,86	6	0,72	16	2,03	5	38	0,47	3	28	16	16	12.040	3
	ACT3	0,79	1,09	1,42	0,58	1,61	0,41	3	0,88	0,36	15	0,07	1,35	9	6	6	4.750	3
	ACT4	3	5	2,46	3	6	0,48	8	3	1,40	40	0,13	1,28	43	10	21	10.011	8
	ACT5	3	4	3	0,69	1,32	0,49	15	1,49	3	36	0,09	142	25	15	9	11.308	3
	ACT6	5	6	5	1,40	1,60	0,24	18	2,13	5	45	0,05	4	50	19	19	14.138	2,43

CULTURA	kg	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Mo	Pb	Sb	Se	Sn	Zn
MORANGO	ART1	190	14	57	3	32	1,49	48	6	12	36	3	94	66	15	19	11.409	14
	ART2	233	17	70	8	39	1,60	77	8	12	44	3	74	141	19	23	13.964	18
	ART3	195	7	58	6	32	2,07	24	8	14	37	1,28	195	85	16	19	11.688	20
	ART4	173	28	9	9	19	0,61	64	5	6	33	0,08	173	79	14	17	10.356	3
	ART5	211	8	63	4	29	4	33	6	12	40	1,65	211	69	17	21	12.635	12
	ART6	215	10	6	9	11	1,83	34	5	9	41	0,58	215	82	17	22	12.927	11
	ACT1	198	8	46	3	33	1,45	49	6	11	38	3	66	23	16	20	11.898	19
	ACT2	214	9	50	7	36	1,54	61	6	11	41	3	21	41	17	21	12.833	15
	ACT3	185	27	56	8	25	1,92	62	6	14	35	1,17	185	27	15	19	9.346	15
	ACT4	184	15	1,64	27	9	2,05	111	6	9	35	0,32	184	39	15	18	11.051	15
	ACT5	219	9	66	5	30	3	53	5	14	42	1,69	219	131	17	22	13.125	16
	ACT6	223	9	25	10	9	0,99	57	6	12	42	0,38	223	105	18	22	13.370	11

Os valores destacados em azul destacam a quantidade mais limitante (individualmente para cada EPT) em cada tratamento. AR: água com rejeito; AC: água convencional; T1: solo controle sem adição de nutrientes; T2: solo controle com adição de nutrientes; T3: rejeito depositado no Compartimento 1 sem adição de nutrientes; T4: rejeito depositado no Compartimento 1 com adição de nutrientes; T5: material que representa os solos das manchas dos Compartimentos 2, 3 e 4 sem adição de nutrientes; T6: material que representa os solos das manchas dos Compartimentos 2, 3 e 4 com sem adição de nutrientes.

Considerando a totalidade de indicadores obtidos para avaliar a contaminação dos solos nas manchas de inundação nos Compartimentos 2, 3 e 4 (amostragens em campo e experimento em condições controladas; verificação do solo e da planta; comparações com a linha base e solo controle), foram observadas as seguintes situações: contaminação por As e Mn nos solos afetados, tendo sido mais expressiva nos solos do Compartimento 2; e transferência de Fe e Mn (elementos mais biodisponíveis) para espécies vegetais cultivadas nesse substrato, com potencial de intoxicação das plantas por Mn, e de toxicidade de Fe em bovinos que se alimentarem exclusivamente das pastagens cultivadas nessas áreas.

Para o Tecno solo formado no Compartimento 1, também foi identificada contaminação por Fe e Mn, sendo que esse dano foi considerado pouco grave, cessado e irreversível para essa porção da bacia. De acordo com os indicadores aqui apresentados, para os demais solos afetados na APDL 2016, a classificação da contaminação do solo por elementos potencialmente tóxicos pode ser considerada como um dano grave para os Compartimentos 2, 3 e 4, pois embora o As não tenha sido biodisponibilizado para as plantas, o mesmo foi detectado em níveis superiores à linha base e pode entrar para a cadeia trófica no futuro, e esse elemento possui alta toxicidade para mamíferos (GUILHERME et al., 2005). Além disso, os resultados demonstraram que as plantas desenvolvidas nos solos afetados dos Compartimentos 2, 3 e 4 estão submetidas a níveis fitotóxicos de Mn. Os processos de remediação de metais e semimetals no solo são complexos e de cinética muito lenta, por isso o dano pode continuar sendo considerado irreversível na escala de tempo de uma geração humana. No entanto, a contaminação tenderá a aumentar nos solos dos Compartimentos 2, 3 e 4 à medida que a dinâmica do rio Doce permita que novos extravasamentos e deposições do material que permanece na calha do rio ocorram, em eventos futuros de cheia (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020i). De acordo com a modelagem realizada pelo Lactec, serão necessários entre 113 e 163 anos para que todo o rejeito seja naturalmente

deslocado da calha do rio Doce em direção ao leito oceânico, em função do transporte de sedimentos natural (Item 2.3 do Tomo II – Ambiente Aquático Continental do Acompanhamento de Danos).

2.2.5 CONCLUSÕES

Os resultados apresentados nesse relatório referem-se ao acompanhamento do diagnóstico dos danos ocorridos aos solos, com enfoque nas áreas de várzea sob influência das manchas de inundação do rio Doce, na região à jusante da UHE Risoleta Neves, até a foz no Espírito Santo.

Foram analisados diversos indicadores para a avaliação dos efeitos de deposições dos sedimentos do rio Doce, contendo rejeitos, com relação à alteração da composição da fase sólida do solo, alteração da fertilidade e do potencial produtivo do solo e com relação à contaminação do solo por elementos potencialmente tóxicos. Verificou-se que os solos das áreas afetadas não sofreram prejuízos ambientais com relação à sua composição mineralógica e com relação à perda de fertilidade e potencial produtivo. As deposições de materiais sólidos na porção extracalha, durante os eventos de cheia do rio Doce, promoveram incremento na fração argila e no teor de matéria orgânica desses solos, resultando em solos de fertilidade superior aos solos de linha base. Novamente ressalta-se que, eventuais perdas de potencial produtivo em solos de fertilidade construída de propriedades agrícolas ribeirinhas, não foram alvo do presente diagnóstico, que focou em danos ambientais aos solos da bacia do rio Doce, de forma geral.

Para os danos de alteração da composição do solo e alteração da fertilidade e do potencial produtivo do solo, portanto, as classificações de gravidade, tendência e reversibilidade se aplicam apenas aos solos afetados no Compartimento 1 (alteração da composição do solo: dano gravíssimo, cessado e irreversível; alteração da fertilidade e do potencial produtivo do solo: dano pouco grave, cessado e parcialmente reversível), e para os demais solos afetados da bacia, não houve detecção de perda de função ecológica.

Por outro lado, os solos afetados dos Compartimentos 2, 3 e 4 apresentaram indicadores de contaminação por As e Mn, além de ter sido detectado potencial de fitotoxicidade de Mn em plantas que se desenvolvem nesses solos, e de toxicidade de Fe para bovinos que se alimentem exclusivamente de pastagens desenvolvidas sobre os solos afetados. Para o dano de contaminação do solo por EPTs, portanto, a classificação variou entre Compartimentos, tendo sido diagnosticado como um dano pouco grave, cessado e irreversível para o Compartimento 1, e como grave, irreversível e com tendência a aumentar com o tempo, para os solos dos Compartimentos 2, 3 e 4.

2.2.6 CENÁRIO DE DANOS

A maior parte dos danos ao solo já foram cessados, conforme indicado em Brasil (MPF)/LACTEC (2020d), pois em essência, os danos ocorreram em função da deposição da camada de rejeitos que agora substitui o substrato natural como meio de crescimento de plantas no Compartimento 1. Nesse Compartimento, no entanto, o potencial de erosão é um dano que ainda não cessou, e possui tendência de reduzir com o passar do tempo, caso ocorra a recuperação da matéria orgânica no Tecno solo, bem como se adotadas práticas conservacionistas em áreas de cultivo sobre o Tecno solo e a manutenção da cobertura vegetal de forma contínua no rejeito depositado.

A erosão do solo é um processo que causa sua degradação, pois são perdidas partículas da camada superficial do solo que tende a ser a camada mais fértil. Além disso, o destino final das partículas erodidas é o corpo d'água, resultando em perda de qualidade para usos múltiplos em função do aumento da turbidez e redução do oxigênio dissolvido, além do impacto nas comunidades biológicas aquáticas em decorrência da possibilidade de eutrofização e/ou do aumento da concentração de EPTs na água.

A erosão possui dois agentes principais: o vento (erosão eólica) e a chuva (erosão hídrica). A erosão hídrica é um processo que ocorre a partir de três etapas: a desagregação das partículas da massa do solo pelos impactos das gotas de chuva; o transporte dessas partículas morro abaixo por salpicamento, arrastamento, rolamento e flutuação; e, finalmente, a deposição das partículas transportadas para cotas inferiores da paisagem (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d). O processo de erosão hídrica se inicia como uma remoção uniforme das partículas desagregadas na superfície do solo (erosão laminar), podendo evoluir para fluxos concentrados em sulcos (erosão em sulcos) e, em volumes de enxurrada ainda mais concentrados, evoluindo para situações drásticas, como a erosão em voçorocas (BRADY; WEIL, 2010).

A matéria orgânica do solo (MOS) é um dos atributos do solo que permite ao mesmo ter resiliência contra a erosão. No solo, os compostos orgânicos humificados (substâncias húmicas) são responsáveis por grande parte das cargas (BAYER; MIELNICZUK, 2008; TAN, 2003), que permitem às partículas individuais se agruparem em agregados, que em conjunto, formam as estruturas do solo. O arranjo de estruturas, por sua vez, resulta na rede de macro e microporos que são responsáveis pela drenagem e regulação da água e por evitar que a mesma escoe superficialmente. Além das substâncias húmicas, as raízes das plantas e os exsudatos do metabolismo microbiano e também das próprias plantas auxiliam na interconexão dos microagregados em macroagregados. O dossel das plantas também auxilia na diminuição da energia cinética das gotas de chuva, permitindo que a mesma chegue ao solo com menor potencial de erosão. Por isso, é de suma importância que os solos de elevada erodibilidade (como é o caso do Tecnossolo do Compartimento 1), estejam sempre recobertos de vegetação para evitar elevadas taxas de perdas de solo.

Ainda, é possível aumentar os teores de MOS no Tecnossolo a partir da incorporação de compostos orgânicos diversos, como restos de culturas e resíduos da produção animal. Como os níveis de carbono (que o principal componente da MOS) do Tecnossolo são muito baixos (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d), essa técnica irá acelerar a recuperação das condições pré-existentes, permitindo ao novo solo ter maior resiliência contra a erosão, até atingir taxas de perda de solo anuais estabilizadas e dentro de limites aceitáveis.

No caso da inobservância dessas questões (incremento da MOS e cobertura vegetal permanente sobre o solo), a possibilidade de aumento dos processos erosivos e degradação do Tecnossolo com o tempo é muito provável. Assim, é fundamental que ocorram intervenções no sentido de possibilitar a recolonização vegetal de forma satisfatória e permanente sobre o rejeito. A Fundação Renova possui projetos sobre esses aspectos, em que a partir dos programas PG023 (Programa de Manejo de Rejeitos) e PG025 (Programa de Recuperação Ambiental 1), propôs-se o estabelecimento de gramíneas e leguminosas para a colonização inicial do rejeito no Compartimento 1 e o plantio de mudas nativas para a recomposição das APPs. De acordo com o acompanhamento desses programas, considera-se

que a intervenção com gramíneas e leguminosas ocorreu de forma satisfatória em aproximadamente 680 ha (IBAMA, 2020), embora apenas 170 ha da Área Ambiental 1 tiveram o plantio de mudas nativas, tendo sido identificados locais com degradação causada pela presença de gado às margens do rio, com surgimento de processos erosivos (ravinas e voçorocas), movimentação de taludes e problemas de drenagem (RAMBOLL, 2018). Dessa maneira, reforça-se a importância da manutenção das ações previstas no PG025 com relação à restauração florestal, pois se tais intervenções não ocorrerem de forma satisfatória, o potencial de erosão das áreas com Tecnossolo pode continuar elevado enquanto houver rejeito sobre o solo.

É importante ressaltar que o aumento do potencial de erosão foi observado apenas nos solos do Compartimento 1. Para os Compartimentos 2, 3 e 4, a camada de deposição de materiais correlatos ao desastre (rejeitos misturados com sedimentos e solos naturais da bacia) foi muito inferior à ocorrida no Compartimento 1, não tendo sido suficiente para alterar sua suscetibilidade a erosão.

Para os solos dos Compartimentos 2, 3 e 4, o desastre incorreu no aumento da contaminação de As e Mn, além de resultar na elevada biodisponibilidade de Mn e Fe para as plantas. Esses dois últimos elementos também estiveram bastante biodisponíveis no Tecnossolo do Compartimento 1. Existem, no entanto, diferenças entre as tendências de continuidade do dano de contaminação em relação aos Compartimentos. No Compartimento 1, a contaminação ocorreu no momento do desastre, ou seja, o soterramento dos solos naturais pela camada de rejeitos rica em Fe e Mn ocorreu de forma estática no tempo, o que confere a tendência de ser um dano cessado para essa região. No entanto, para os solos dos Compartimentos 2, 3 e 4, a contaminação pode ser ampliada em função de novas eventuais deposições de materiais da calha do rio Doce a cada novo evento de cheia, o que confere ao dano a tendência de aumentar com o passar do tempo. Esse dano, portanto, só poderia ser considerado totalmente cessado quando da inexistência de rejeito nas porções intracalha e extracalha, que só ocorrerá de forma natural quando todo o rejeito for lavado da calha do rio (entre 113 e 163 anos) (Item 2.3 do Tomo II – Ambiente Aquático Continental do Acompanhamento de Danos).

É importante ressaltar, no entanto, que o aumento na contaminação dos solos dos Compartimentos à jusante de Risoleta Neves está atrelado à dinâmica do rio Doce em função do regime de chuvas. Enquanto não houverem novos extravasamentos, os EPTs estarão sujeitos a reações no solo que podem alterar sua dinâmica (precipitação, adsorção, oxi-redução, complexação, etc.), podendo inclusive, torná-los menos disponíveis às plantas com o tempo. O pH é um dos parâmetros que mais influencia a dinâmica de metais no solo, em que a disponibilidade desses elementos aumenta em solos ácidos e diminui em solos com pH mais próximo da neutralidade (exceto para o Mo).

Outro dano ao solo, que não foi cessado, mas que possui tendência à redução, é o dano relacionado à alteração da permeabilidade e fluxo de água. De modo geral, a partir das análises realizadas, os ensaios indicaram que a deposição de rejeito sobre o solo natural contribuiu para o aumento do coeficiente de permeabilidade K_v , uma vez que a taxa de infiltração/percolação de água no solo foi alterada em até 100 vezes. É um dano irreversível considerando que a remoção completa da camada de rejeito depositada é inviável e com o decorrer do tempo tende a reduzir, caso medidas de proteção do solo superficial sejam adotadas, senão, tende a aumentar devido a erosão interna.

Os resultados dos ensaios realizados com as amostras de rejeito coletadas no Compartimento 1 apresentaram valores médios de 10^{-4} cm/s. Este valor, quando comparado aos valores de linha base médios de 10^{-6} cm/s (PATROL, 2017), identifica-se um aumento e este aumento pode estar vinculado a distribuição granulométrica do rejeito. O rejeito possui elevada fração de silte e de areia os quais possuem diâmetro dos grãos maiores do que argilas, tornando o material mais permeável. Ainda, foi verificado no ensaio do furo de agulha (Pinhole test), que o material em questão possui características de formação de piping (erosão interna), o que pode criar caminhos preferências para o fluxo de água no solo, aumentando assim o k_v .

Do ponto de vista da engenharia geotécnica espera-se um comportamento de redução do dano referente a alteração da permeabilidade e fluxo de água no solo no decorrer dos anos ao longo do Compartimento 1. Considerando que a remoção completa da camada de rejeito depositada pode ser inviável, como já citado, e com o decorrer do tempo tende a reduzir, caso medidas de proteção do solo superficial sejam adotadas, senão, tende a aumentar devido a erosão interna.

No Compartimento 1 a contaminação ocorreu no momento do desastre, ou seja, o soterramento dos solos naturais pela camada de rejeito ocorreu de forma estática no tempo. A maior parte do material extravasado ficou contido entre as regiões da barragem de Fundão e da UHE Risoleta Neves, ocupando a calha do rio Doce e as suas margens. Diante disso, os esforços de avaliação do dano referente a alteração da permeabilidade e fluxo de água no solo ficaram voltados somente ao Compartimento 1. Entende-se dessa maneira, que após o rompimento, novos aportes de rejeito no trecho mencionado não foram realizados, justificando assim o não acompanhamento desse dano no presente relatório e não sendo necessária a avaliação para os Compartimentos 2, 3 e 4. Por fim, cabe informar que para os danos citados referente a alteração da permeabilidade e fluxo de água no solo não se pode estimar um tempo de recuperação devido à complexidade dos assuntos.

2.3 DANOS À FLORA

Findado o diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão, é razoável afirmar que o dano direto mais significativo sobre a vegetação terrestre foi sua remoção e soterramento provocado pelo arraste mecânico da lama durante a sua passagem. De fato, os cálculos de NDVI (índice de vegetação por diferença normalizada), aplicado para as cabeceiras dos rios Gualaxo do Norte, do Carmo e Doce, indicaram queda expressiva nos índices de cobertura vegetal entre os períodos pré-desastre (anos de 2014 e 2015) e pós-desastre (anos de 2016 e 2017), especificamente no Compartimento 1 (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d).

No entanto, o mesmo indício de dano direto não foi observado nas respostas de NDVI para os Compartimentos 2 e 3, o que gerou questionamentos quanto à amplitude dos danos provocados pela passagem da lama à vegetação nativa ao longo de toda a extensão do rio Doce. Diante disso, visando o acompanhamento dos danos, verificou-se a necessidade de apontar possíveis consequências do rejeito de minério de ferro para a vegetação nativa afetada pelo desastre, ocasionado pelas cheias verificadas no início do ano de 2016. Essa necessidade se mostrou ainda mais evidente após a constatação de que houve contaminação dos solos nas manchas de inundação à jusante da UHE Risoleta Neves (item 2.2.4 do presente relatório).

Nesse sentido, o acompanhamento de danos à flora se deu pelo delineamento de um estudo da contaminação da vegetação nativa. O objetivo geral do estudo foi avaliar se o desastre da barragem de rejeitos de Fundão (Mariana, MG) acarretou na contaminação de espécies vegetais nativas (espécies-alvo) estabelecidas em áreas com passagem e deposição de lama (APDL) ao longo do rio Doce. Especificamente esperou-se avaliar os níveis de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) presentes nas partes aéreas (folhas) de duas espécies-alvo para cada compartimento, presentes em áreas afetadas e não afetadas (controle) pelas cheias e pelo rejeito, além de avaliar as eventuais diferenças de respostas fisiológicas dos organismos-teste estabelecidos em APDL para com aqueles presentes em áreas controle (fora da APDL).

2.3.1 ESTUDO DA CONTAMINAÇÃO DA FLORA POR ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS

O estudo de contaminação da flora nativa por EPTs foi realizado com base em amostras de tecido foliar de plantas nativas coletadas ao longo dos três compartimentos que compreendem a APDL e áreas próximas (controle). Os locais de coleta foram divididos em nove áreas, sendo três em cada compartimento. Por conta da diversidade entre os compartimentos, não foi possível a coleta da mesma espécie nas três áreas. Assim, foram coletadas duas espécies diferentes em cada compartimento (arbóreas e arbustivas), de modo que elas foram selecionadas para serem minimamente comparáveis, sendo as mesmas: *Siparuna guianensis* (C1), *Piper arboreum* (C1), *Adiantum latifolium* (C2), *Guarea guidonia* (C2), *Chrysophyllum lucentifolium* (C3) e *Psychotria carthagenensis* (C3). Desses mesmos espécimes, além da concentração de EPTs no tecido vegetal foliar, foram mensurados dados morfométricos em campo (diâmetro à altura do peito, diâmetro à altura da base e altura total) e dados morfométricos das folhas que compuseram amostra vegetal utilizada na detecção de EPTs.

Paralelamente, foram coletadas amostras compostas de solos, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, seguindo a mesma metodologia apresentada no item 2.2.1 do presente relatório, para representarem espacialmente as nove áreas associadas aos espécimes de flora coletados. Os resultados de solo foram utilizados para comparações com as condições de meio de crescimento das plantas, bem como para auxiliar no entendimento acerca das concentrações de EPTs dos tecidos biológicos. Todos os resultados das amostras de solo coletadas no estudo de contaminação da flora nativa encontram-se no Apêndice B, bem como os laudos analíticos são apresentados nos Anexos J, K e L. Os laudos das concentrações de EPTs nos tecidos foliares das espécies arbóreas e arbustivas encontram-se apresentados no Anexo M.

O estudo de contaminação das espécies nativas apontou que ambas as áreas (APDL e controle) apresentam indivíduos com composição elementar e morfométrica semelhantes, não tendo sido possível associar os resultados obtidos com o desastre da Samarco. Os resultados são, portanto, apresentados e discutidos detalhadamente no Documento Suplementar “Estudo de contaminação da flora nativa”, não tendo sido configurado como um dano ambiental.

É importante destacar, no entanto, que esse estudo foi delineado com base na constatação de que os solos atingidos pelo desastre foram potencialmente acometidos em função da contaminação por EPTs (Compartimento 1 por Fe e Mn; e Compartimentos 2, 3 e 4 por As e Mn), o que gerou a

necessidade de verificação dos possíveis efeitos dessa contaminação para a flora nativa. No entanto, devido às dificuldades impostas pela pandemia de coronavírus, o estudo contou com apenas uma campanha de amostragem. Adicionalmente, o ciclo de metabolização de espécies perenes é mais longo do que de espécies de ciclo curto (que demonstraram potencial de acúmulo de Fe e Mn, de acordo com os resultados em pastagens e espécies agrícolas avaliadas no item 2.2.4 – Contaminação do solo por elementos potencialmente tóxicos), o que indica a necessidade de monitoramentos futuros para a comprovação ou refutação dos resultados obtidos no presente estudo.

O monitoramento se mostra essencial, pois foram verificadas concentrações mais elevadas de Ba e Mn em duas espécies presentes na APDL (*Piper arboreum* (C1) e *Chrysophyllum lucentifolium* (C3), respectivamente) em comparação às mesmas espécies desenvolvidas nas áreas controle. Embora não tenha sido consistente entre todas as espécies, a bioacumulação de EPTs na flora nativa pode acometer fontes de alimentos para diversas espécies de fauna e, assim, impactar negativamente em diversos processos ecológicos.

2.3.2 CENÁRIO DE DANOS

O dano de supressão à vegetação nativa ciliar pode ser considerado como a chave para o entendimento dos demais danos ocorridos à flora terrestre, visto que estes decorreram em consequência do primeiro. Neste caso, além da supressão da vegetação, a perda de biodiversidade da flora, redução da capacidade de resiliência da floresta e a perda de recursos florestais madeireiros e não madeireiros foram considerados danos cessados (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d), ou seja, não continuam mais a ocorrer, e agora dependem das ações de recuperação aplicadas no território para retornarem ao estado conhecido na linha de base. Outros três danos podem ainda estar ocorrendo e trazendo consequências para a flora nativa, e são listados a seguir com suas respectivas perspectivas de evolução ao longo do tempo.

2.3.2.1 Supressão da vegetação nativa pela implantação de infraestrutura

A supressão de vegetação para implantação de infraestrutura contemplou tanto as ações que já haviam sido executadas, como construção de estradas, diques e demais obras, quanto às áreas então planejadas para receber os reassentamentos. Uma vez que mesmo as áreas que ainda estavam sob planejamento para urbanização foram contabilizadas, espera-se que haja uma diminuição de áreas que venham a sofrer este tipo de alteração, embora não seja possível descartar novas intervenções, especialmente se for necessária a implantação de algum tipo de obra emergencial.

2.3.2.2 Fragmentação e aumento do efeito de borda

O processo de fragmentação florestal, além de reduzir a área florestal, gera o efeito de borda nos fragmentos. As condições de umidade, temperatura e radiação solar são modificadas e o equilíbrio do ecossistema fica comprometido gerando impactos significativos na redução da biodiversidade, por meio de processos como a mortalidade de árvores e alteração de habitats (MURCIA, 1995). Nos estudos de diagnóstico e acompanhamento, as consequências destas alterações foram percebidas não somente neste dano, mas também na perda de conectividade, perda da qualidade de habitats e perda

de biodiversidade terrestre. Desta forma, estes ambientes podem ainda estar sofrendo as consequências, principalmente do efeito de borda. Entretanto, espera-se uma diminuição destes efeitos à medida em que avançarem os programas relativos à restauração florestal dentro da bacia. Neste sentido, é importante que as ações de restauração florestal priorizem a reconectividade entre os fragmentos, visando proporcionar futuramente manutenção da biodiversidade, o aumento de fluxo gênico entre os fragmentos.

2.3.2.3 Introdução e aumento de espécies exóticas invasoras

Esse foi considerado um dano grave e é importante destacar que o aumento de espécies exóticas invasoras pode representar uma ameaça ao sucesso da restauração florestal, especialmente em áreas que estejam passando pelos períodos iniciais dos processos de restauração ou por recuperação via condução da regeneração natural (COELHO, 2010).

Plantas invasoras podem produzir alterações em propriedades ecológicas essenciais tais como ciclagem de nutrientes e produtividade vegetal, cadeias tróficas, estrutura, dominância, distribuição e funções de espécies num dado ecossistema, distribuição de biomassa, densidade de espécies, porte da vegetação, índice de área foliar, queda de serrapilheira (que faz aumentar o risco de incêndios), taxas de decomposição, processos evolutivos e relações entre polinizadores e plantas (ZILLER, 2005). Desta forma, para evitar este tipo de consequência, é necessário que as ações de monitoramento previstas dentro dos Programas 25, 26 e 27 desenvolvidos pela Fundação Renova sejam efetivas e garantam o controle do estabelecimento destas espécies, evitando ameaças não somente sobre as áreas em processo de restauração, mas também às unidades de conservação e demais fragmentos de vegetação nativa ainda presentes ao longo do rio.

2.4 DANOS À FAUNA

A fauna no ambiente terrestre foi abordada, no diagnóstico, por meio do estudo de vários grupos animais, entre vertebrados (aves, mamíferos, anfíbios e répteis) e invertebrados (besouros, abelhas, vespas, mosquitos, borboletas e formigas). Foram identificados sete danos por meio destas análises (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d), quais sejam, alterações nas populações faunísticas (grave, no Compartimento 1), alterações nas assembleias faunísticas (gravíssimo, no Compartimento 1; pouco grave, nos compartimentos 2 e 3), piora nas condições físicas da fauna (pouco grave, no Compartimento 2), perda de conectividade na paisagem (gravíssimo, no Compartimento 1), perda de adequabilidade ambiental (anteriormente nominado de perda de qualidade dos habitats) (gravíssimo, no Compartimento 1), comprometimento à saúde da fauna silvestre e aumento na bioacumulação. Os dois últimos não puderam ser classificados naquela ocasião.

No que tange ao presente estudo, o acompanhamento dos danos à fauna silvestre no rio Doce é realizado apenas aos danos não cessados, conforme diagnóstico anterior, quais sejam: (i) pioras nas condições de saúde das populações animais, cuja análise se baseou em indicadores de saúde física de morcegos capturados em campo; (ii) comprometimento à saúde da fauna silvestre, mensurados em amostras de sangue de anfíbios, pequenos mamíferos não-voadores e morcegos mensurados por meio da avaliação de biomarcadores em sangue e hemolisado; e (iii) ocorrência de bioacumulação, que se

refere à acumulação de elementos potencialmente tóxicos em diferentes matrizes (hemolisado, penas, pelos e fezes) de diversos grupos da fauna. Para os itens ii e iii, este relatório apresenta os resultados de forma resumida para cada grupo de fauna, sendo que o estudo completo relativo ao comprometimento à saúde e à ocorrência de bioacumulação de elementos potencialmente tóxicos na fauna silvestre é apresentado no tópico de Ecotoxicologia (Tomo I - Contextualização do Acompanhamento de Danos).

Neste diagnóstico a fauna é tratada como um conjunto de indicadores e o detalhamento individual dos grupos zoológicos são apresentados nos seguintes Documentos Suplementares: “Entomofauna”, “Herpetofauna”, “Avifauna”, “Alterações Populacionais da Avifauna usando Modelos de Ocupação”, “Pequenos Mamíferos”, “Quiropteroфаuna”, “Mamíferos de Médio e Grande Porte”, “Avaliação Hierarquizada Espacial e Temporal dos Danos Decorrentes do Desastre de Rompimento da Barragem do Fundão sobre a Biodiversidade de Fauna e Flora” e “Dinâmica Temporal da Composição de Espécies em Diferentes Comunidades de Fauna Terrestre nas Proximidades de Rios Afetados, ao Longo da Bacia do Rio Doce”, bem como nos Apêndices C, D, E, F e G.

Além destes danos, o presente relatório apresenta, ainda, novas abordagens para os danos de perda de populações faunísticas, perda de conectividade na paisagem e perda de adequabilidade ambiental; e um novo dano, nominado perda de biodiversidade terrestre. Diversos outros resultados são também apresentados como materiais suplementares deste relatório (Documentos Suplementares anteriormente citados e Apêndices C, D, E, F e G), e se referem aos dados consolidados das 7 campanhas de amostragem da fauna na região. Nesses casos, tratam-se de atualizações dos resultados em relação aos dados apresentados anteriormente.

2.4.1 METODOLOGIA

O detalhamento metodológico dos estudos relativos à fauna silvestre, incluindo avaliações realizadas por meio de modelagens matemáticas que envolvem também a vegetação (mas apresentadas aqui como “biodiversidade terrestre”) encontram-se detalhadas em Brasil (MPF)/LACTEC (2020d). Algumas alterações foram conduzidas no desenho amostral de determinados grupos da fauna, realizadas com o intuito de aprimorar a avaliação e acompanhamento dos danos identificados no primeiro ano de amostragem. Estas mudanças são apresentadas nos documentos suplementares anteriormente citados e nos Apêndices C, D, E, F e G dos respectivos grupos faunísticos que as conduziram.

No entanto, em virtude da interrupção precoce das amostragens em atendimento à protocolos de saúde frente à situação pandêmica do Brasil, o segundo ciclo completo de amostragens em campo não pôde ser finalizado para este produto. Esta interrupção, no entanto, não prejudica a interpretação dada ao presente diagnóstico, de acompanhamento dos danos identificados anteriormente. Perde-se,

isto sim, acurácia e habilidade analítica de algumas métricas quantitativas, as quais são discutidas nos respectivos tópicos também apresentados nos documentos suplementares; para as quais seguem-se sugestões de monitoramentos caso seja de interesse avaliar esses indicadores no decorrer das atividades vinculadas à restauração ecológica do rio Doce.

Outro aspecto que vem a ser definido neste momento refere-se à compreensão de abrangência geográfica dos danos aqui citados. As pesquisas em campo, e interpretações analíticas que seguem com base nesses dados são de difícil definição geográfica, tendo em vista a ampla gama de organismos indicadores selecionados neste estudo. Nesse sentido, opta-se por uma definição também abrangente e que abarque, minimamente, alguns dos produtos espacialmente explícitos avaliados pelas equipes de especialistas. Os danos identificados no Compartimento 1 devem ser compreendidos dentro dos limites das sub-bacias que compõem essa região (Figura 155). Nos demais compartimentos, a definição geográfica segue a delimitação sugerida para avaliação das informações da biodiversidade terrestre (Figura 156).

Figura 155 – Limites geográficos para interpretação dos danos à fauna terrestre no Compartimento 1.

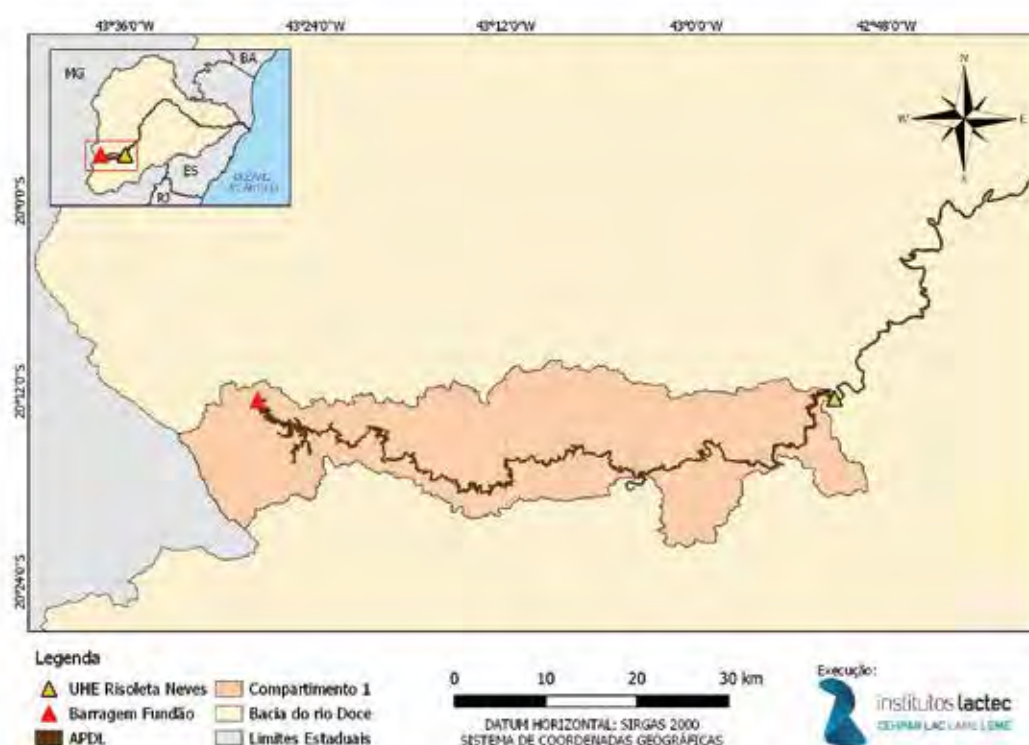
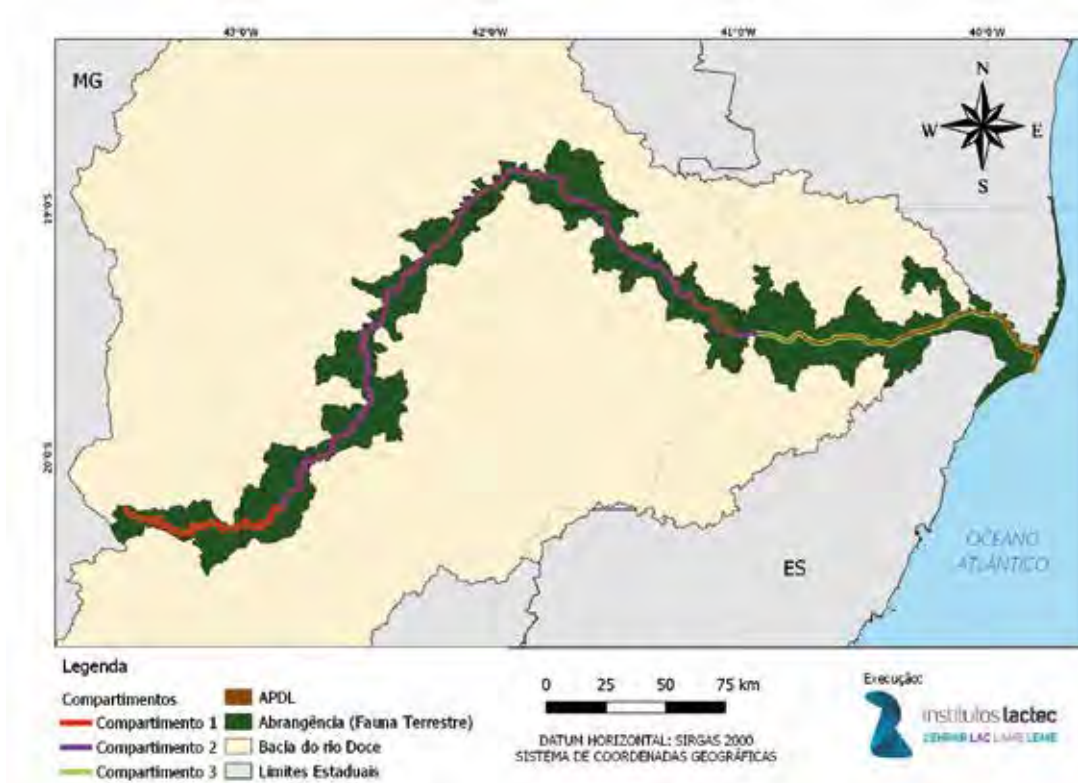


Figura 156 – Limites geográficos para interpretação dos danos à fauna terrestre nos Compartimentos 2 e 3.



No que se refere aos danos relativos ao comprometimento à saúde da fauna silvestre e à bioacumulação de elementos potencialmente tóxicos, no presente relatório serão apresentados os resultados resumidos de ambos os danos, para cada grupo de fauna avaliado, sendo que o detalhamento pode ser consultado no TOMO I – Contextualização, item Ecotoxicologia. Este resumo corresponde a apresentação dos resultados obtidos ao longo de um ano de diagnóstico ecotoxicológico. Para o diagnóstico foram realizadas quatro fases de campo, de periodicidade trimestral, entre os anos de 2018-2019, contemplando duas campanhas na estação seca (junho/julho de 2018 e julho/agosto de 2019) e duas campanhas na estação chuvosa (outubro/novembro de 2018 e fevereiro/março de 2019). A avaliação dos resultados permitiu a qualificação e quantificação dos danos, bem como sua classificação, conforme descrito no tópico 2.4.7.

2.4.2 ALTERAÇÕES NAS POPULAÇÕES FAUNÍSTICAS

Um novo indicador foi desenvolvido para compor o acompanhamento deste dano, especificamente utilizando o grupo da avifauna como indicador. Baseando-se no modelo proposto por Mackenzie et al. (2002), computou-se a diferença de ocupação (mensurada por Ψ) por aves florestais e não-florestais de modo a quantificar as alterações nessa métrica em decorrência do desastre, especificamente em ambientes dentro e fora da APDL. Foram selecionadas 5 espécies de aves para aplicação desta avaliação, as quais foram elegidas por se tratarem de espécies comuns. Além disso, as espécies apresentam sabidamente preferências de hábitat distintas, das quais duas são tipicamente florestais (*Basileuterus culicivorus* e *Pyriglena leucoptera*), duas são aves não florestais (*Elaenia flavogaster* e *Synallaxis spixi*) e uma espécie é generalista quanto à ocupação desses ambientes (*Todirostrum poliocephalum*). O

detalhamento metodológico desta abordagem é descrito no Documento Suplementar “Alterações Populacionais da Avifauna usando Modelos de Ocupação”.

A probabilidade de ocupação das espécies florestais nos sítios APDL diminuiu: *B. culicivorus* têm 70% maior probabilidade de ocupar um ambiente fora da APDL do que dentro da mesma; para *P. leucoptera* o uso desses ambientes é 36% superior em locais fora da APDL. Contrariamente, os dois táxons não-florestais (*E. flavogaster* e *S. spixi*) têm probabilidade aproximadamente 70% maior de ocupar ambientes de APDL em relação a sítios fora da APDL. A espécie mais generalista, por sua vez, não mostrou diferenças de ocupação, tendo igual probabilidade de ocupar ambientes dentro ou fora da APDL. A média de Ψ entre as estimativas das duas espécies florestais (*B. culicivorus* e *P. leucoptera*) e das duas espécies não-florestais (*E. flavogaster* e *S. spixi*) (Tabela 20) foi utilizada para quantificar o dano de alteração das populações faunísticas, obtida pela proporção (Ψ pós-desastre e Ψ linha base). Dessa forma, o dano às populações de aves florestais resultou na perda de aproximadamente 70% da ocupação dessas espécies na APDL, e no aumento de mais de 400% na ocupação de aves não-florestais nessas localidades. Ou seja, a região que outrora abrigava predominantemente aves florestais passou a ser ocupada principalmente por espécies generalistas e de áreas abertas, caracterizando a adulteração na qualidade ambiental desse setor.

A partir desta nova avaliação, o dano – embora cessado – pode ser caracterizado como grave no Compartimento 1, em virtude da magnitude da alteração; e reversível, intimamente relacionado à restauração dos ambientes florestais e da paisagem ao longo da APDL.

Tabela 20 – Mensuração dos danos às populações de aves no Compartimento 1 a partir dos resultados das modelagens de ocupação. Os valores de linha-base (Ψ_{LB}) foram obtidos pela probabilidade de ocupação de cada espécie na condição nAPDL; os valores pós-desastre (Ψ_p) foram obtidos pela probabilidade de ocupação de cada espécie na condição APDL, das quais se obtiveram médias simples ($\bar{\Psi}$) para quantificar as probabilidades de ocupação de aves florestais e aves não-florestais. O dano é mensurado pela divisão de Ψ_p por Ψ_{LB} .

Espécie	Ψ_{LB}	$\bar{\Psi}$	Ψ_p	$\bar{\Psi}$	$\frac{\Psi_p}{\Psi_{LB}}$
<i>Basileuterus culicivorus</i>	0,8654	0,76	0,1645	0,22	0,289
<i>Pyriglena leucoptera</i>	0,6600		0,2955		
<i>Elaenia flavogaster</i>	0,2596	0,17	0,9874	0,89	5,235
<i>Synallaxis spixi</i>	0,0852		0,7890		

2.4.3 PIORA NAS CONDIÇÕES FÍSICAS DA FAUNA

No acompanhamento deste dano, exclusivamente avaliado em morcegos, consideram-se avaliações acumuladas em 2.197 indivíduos sendo que não houve variação sazonal destas ocorrências. Deste conjunto de informações, identificou-se que 55 das alterações observadas podem ter relação com fatores de estresse ambiental e outras 49 alterações são de origem traumática. Não houve diferenças significativas nas taxas de prevalência das duas categorias de alterações quando estas são distribuídas de acordo com a área amostral, Controle ou Tratamento (Tabela 21), seja no conjunto total de dados, seja na comparação dos compartimentos individualmente.

Tabela 21 – Distribuição das lesões observadas em quirópteros, comparando-se os sítios Controle e Tratamento em todos os Compartimentos amostrados, consolidando informações de todas as Unidades Amostrais e das sete campanhas de amostragem.

Tipo de lesão	Controle		Tratamento	
	N	Prevalência	N	Prevalência
Lesões relacionadas a fatores de estresse ambiental	21	0,6000	34	0,5397
Lesões de origem traumática	17	0,4857	32	0,5079

A análise da carga parasitária seguiu as mesmas diretrizes do relatório anterior. Comparando-se a totalidade dos dados observa-se maior taxa de infestação nos sítios Controle, muito embora seja uma diferença sutil (Tabela 22). No entanto, ao conduzir a mesma análise em cada um dos compartimentos observam-se diferenças entre os sítios amostrais.

Tabela 22 – Comparação do grau de infestação por ectoparasitos observadas em quirópteros nos três compartimentos do rio Doce entre os dois momentos do diagnóstico. Apresenta-se o número de animais parasitados (N) e a prevalência (PREV.) de cada grau de infestação nos sítios tratamento e controle, consolidando as informações dos três compartimentos. A Soma das prevalências de infestação corresponde ao somatório dos graus Médio, Alto e Altíssimo.

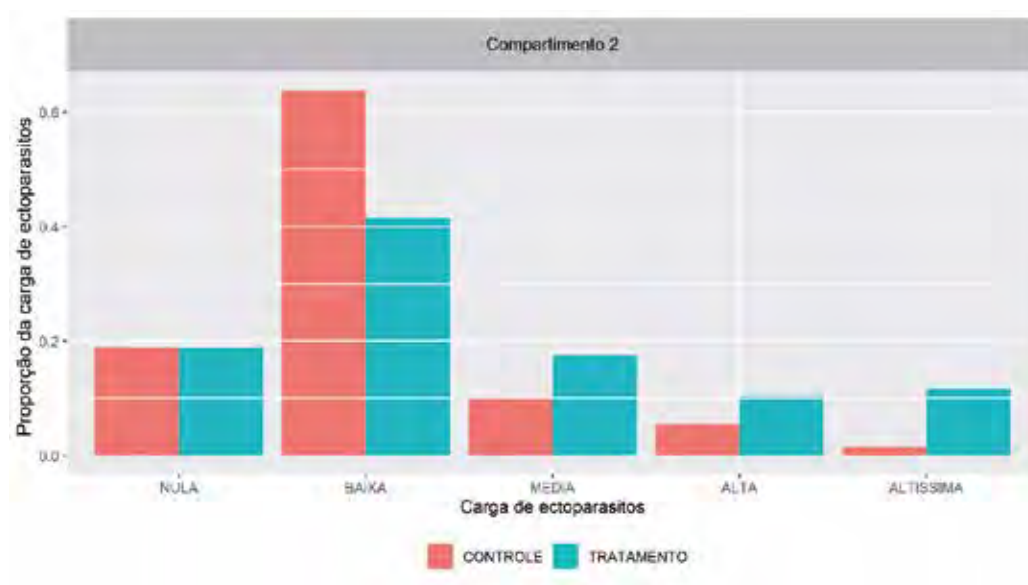
Taxa de infestação	Ano 1				Acumulado ano 1 + ano 2			
	Controle		Tratamento		Controle		Tratamento	
	N	PREV (%)	N	PREV (%)	N	PREV (%)	N	PREV (%)
Nula	5	2,86	1	0,40	64	19,16	293	41,89
Baixa	127	72,57	165	65,22	198	59,28	284	40,75
Média	27	15,43	49	19,37	43	12,87	74	10,62
Alta	9	5,14	18	7,11	21	6,29	25	6,17
Altíssima	7	4,00	20	7,91	9	2,69	23	3,30
Soma	24,57		34,39		21,85		20,09	

No Compartimento 1 a prevalência de animais parasitados observada nos sítios Tratamento e Controle é similar (vide Documento Suplementar “Quiropterofauna”). No entanto, nos compartimentos 2 e 3 esta métrica identificou padrões distintos entre os sítios Controle e Tratamento. Em todos os casos, a interpretação deste indicador para compreender os efeitos do dano deve considerar as características ambientais dos respectivos compartimentos.

O dano ambiental no Compartimento 1 está sobretudo associado à APDL, que resultou na perda de habitat florestal, incluindo áreas de abrigo e forrageio aos morcegos (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d), originalmente inserida em uma matriz de áreas de florestas secundárias, por sua vez decorrentes do abandono de pastagens em décadas passadas. Nesse sentido, os resultados refletem a uniformidade do mosaico ambiental nesse compartimento, promovendo condições similares às comunidades biológicas, especialmente para táxons de alta mobilidade. Dessa forma, os resultados nesse compartimento indicam que as relações de parasitismo na quiropterofauna estão se restabelecendo na região como um todo, reflexo da reestruturação ambiental em curso naquela paisagem. Em outros termos, é possível afirmar que as relações entre ectoparasitos e a comunidade de quirópteros no Compartimento 1 estão em desequilíbrio, presumivelmente exacerbado pelo desastre, mas não em magnitude suficiente para alterar estas interações em maior escala. Interações semelhantes entre ectoparasitos, hospedeiros e as alterações ambientais foram observadas por MANGINI (2010) e ROBLE JÚNIOR (2014).

No Compartimento 2 observou-se maior proporção de morcegos com taxas mais elevadas de infestação (nas categorias Média, Alta e Altíssima de infestação) nos sítios Tratamentos, em contraposição ao maior percentual de animais com taxas de infestação baixa nos sítios Controle (Figura 157). Este resultado reforça a tendência já identificada ao final do Ano 1 (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d) e são forte indício de que os animais que ocupam os sítios Tratamento, portanto mais próximos à APDL, encontram-se submetidos a condições de estresse ambiental mais severas, refletindo-se em sua carga parasitária.

Figura 157 – Comparação da prevalência da carga de ectoparasitos entre os sítios amostrais, Controle e Tratamento, no Compartimento 2.



A situação encontrada no sítio Controle – elevada proporção de indivíduos com pequena taxa de infestação – reflete a expectativa para uma população estável em um ambiente igualmente estável. De fato, este sítio está alocado no interior do Parque Estadual do Rio Doce, sendo razoável assumir que sua quiropterofauna e as suas interações ecológicas estejam estáveis, acompanhando o clímax de um ambiente florestal saudável. Consequentemente, a alteração desta métrica nos sítios Tratamento sugere a perda de qualidade dos habitats às margens do rio Doce, como um fator de perturbação e estresse ambiental capaz de afetar as interações de parasitismo nos morcegos.

No Compartimento 3 identificou-se padrão inverso ao encontrado no Compartimento 2, com menores taxas de infestação por ectoparasitos nas áreas adjacentes à APDL (vide Documento Suplementar “Quiropterofauna”). A paisagem florestal deste compartimento é caracterizada por intensa fragmentação e adulteração dos remanescentes. Especificamente, as áreas de maior cobertura florestal contígua são destinadas ao cultivo de cacau (cabruças), ativas ou abandonadas, às margens do rio Doce. Nas cabruças, estratos médio e superior da floresta são mantidos, mas o sub-bosque e cobertura do solo é convertido em plantios de cacau. Por sua vez, remanescentes de matas menos alteradas encontram-se em fragmentos isolados e de menor porte imersos em na matriz agrícola. Nesse sentido, outras pressões ecológicas encontram-se em atuação numa paisagem como essa, e as características dos habitats nos sítios Tratamento parecem indicar que a cobertura florestal contínua – em oposição a florestas fragmentadas – é um fator mais relevante para manutenção da qualidade ambiental naquela paisagem.

O acompanhamento das métricas envolvidas na avaliação deste dano permite determinar que a interpretação se manteve igual em relação ao diagnóstico anterior. Detectou-se aumento do grau de ectoparasitismo em morcegos que ocupam a APDL, apenas no Compartimento 2, sendo por isso ainda considerado um dano pouco grave e não cessado, mas que tende a diminuir ao longo do tempo. Trata-se de dano reversível a partir da restauração da qualidade dos recursos disponíveis à fauna, especialmente aqueles associados aos rejeitos presentes no rio Doce e que são absorvidos pela biota por diferentes rotas de transferência de matéria.

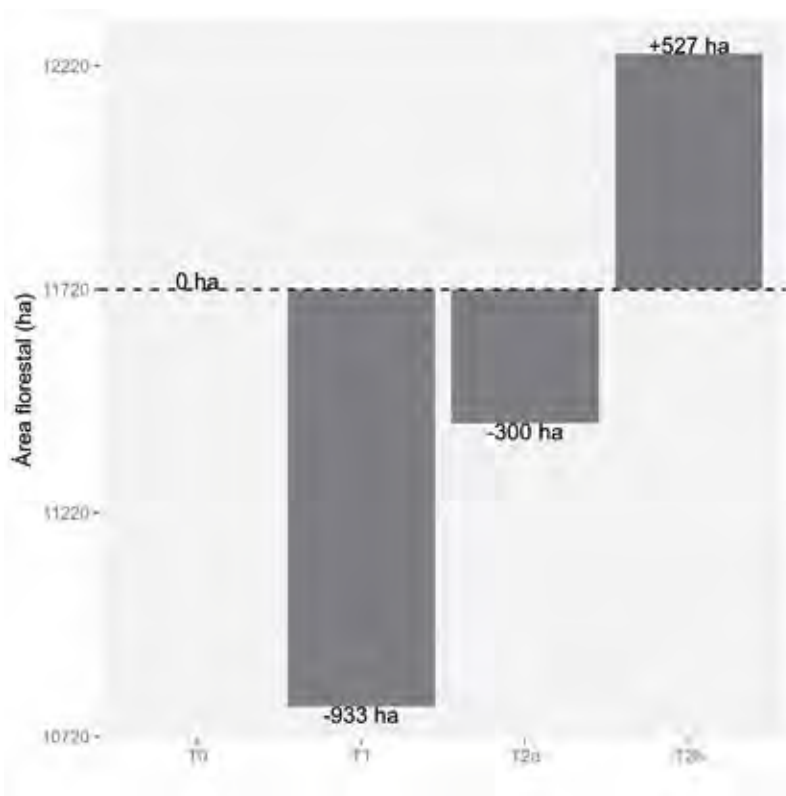
2.4.4 PERDA DA CONECTIVIDADE NA PAISAGEM

O acompanhamento deste dano, obtido por meio de modelagens, é realizado pela apresentação de resultados comparáveis aos discutidos em Brasil (MPF)/LACTEC (2020d), mas em cenários distintos de cobertura florestal no Compartimento 1. Estes cenários (T2a e T2b) são projeções futuras em potencial, e buscam compreender como os processos biológicos ora avaliados respondem a essas mudanças de paisagem, que seguem previsões de reestruturação por vias naturais ou auxiliadas por ações ativas antrópicas. Os cenários T0 (pré-desastre) e T1 (pós-desastre) foram apresentados detalhadamente nos Documentos Suplementares de Brasil (MPF)/LACTEC (2020d), e os dois cenários abordados no acompanhamento de danos estão descritos a seguir:

- **T2a**, um cenário futuro **sem considerar mitigação**: criou-se um cenário futuro de uso e cobertura da terra considerando somente a ação da regeneração natural na recomposição de ambientes florestais (descrito em Brasil (MPF)/LACTEC (2020d)), sem considerar ações de mitigação;
- **T2b**, um cenário futuro **considerando ações de mitigação em adição à regeneração da paisagem**: criou-se um cenário futuro de uso e cobertura da terra considerando tanto o processo de regeneração natural, como no cenário T2a, em adição às propostas de mitigação da Fundação Renova para restauração ativa das áreas florestais. Este cenário parte do pressuposto que a Fundação Renova efetue plenamente a restauração conforme bases cartográficas fornecidas. As ações previstas de intervenção pela Fundação Renova são as áreas afetada pela lama, excluídas áreas fora da APDL.

A partir destes modelos, estima-se que a variação da cobertura florestal nos quatro cenários segue os seguintes valores: no pré-desastre (T0), computavam-se 11.720 ha de florestas no Compartimento 1; após o rompimento da barragem de Fundão houve a perda de 933 ha dessas florestas (cenário pós-desastre, T1). Os cenários futuros correspondem então a um ganho de cobertura florestal, em relação ao pós-desastre (T1), de 633 ha no cenário T2a (mas perdas de 300 ha em relação ao pré-desastre), por regeneração natural; e de 1.460 ha no cenário T2b (mas ganho de 527 ha em relação ao pré-desastre; Figura 158).

Figura 158 – Variação na área florestal (em hectares) no Compartimento 1 nos cenários pré-desastre (T0), pós-desastre (T1), e nos cenários futuros sem mitigação (T2a) e com mitigação (T2b).



O cenário futuro T2a, que considera somente a regeneração natural das florestas, apresenta aumento de 11% na área funcionalmente conectada média disponível para as espécies da fauna em relação ao pós-desastre, T1, ainda que esse valor continue sendo 26% menor do que no pré-desastre (T0; Figura 159). O efeito da supressão florestal sobre a conectividade funcional se diluiu, uma vez que a área dessas sub-bacias vai muito além da área diretamente afetada. Ainda assim, notou-se uma tendência à diminuição do valor médio dos fragmentos funcionais em todos os subcompartimentos (Figura 160).

No cenário futuro T2b os resultados indicam recuperação da conectividade funcional para todos os organismos que podem se movimentar na matriz, e até mesmo aumento na área funcional disponível a eles em relação ao cenário pré-desastre, T0 (Figura 159, Figura 160). Assim, apesar de o aumento do número de fragmentos e diminuição de seu tamanho nesse cenário de restauração, que têm consequências para as espécies mais sensíveis, a restauração nessas áreas da APDL pode levar à diminuição do isolamento entre os fragmentos florestais e no consequente aumento da área funcional disponível para os organismos mais generalistas, que podem utilizar a matriz para se dispersar. Isso foi observado tanto no Compartimento 1 como em seus subcompartimentos (Figura 159).

Figura 159 – Resultados da análise de perda de área funcionalmente conectada para a fauna. O eixo vertical indica área funcionalmente conectada média no Compartimento 1 em função de diferentes capacidades de dispersão (eixo horizontal).

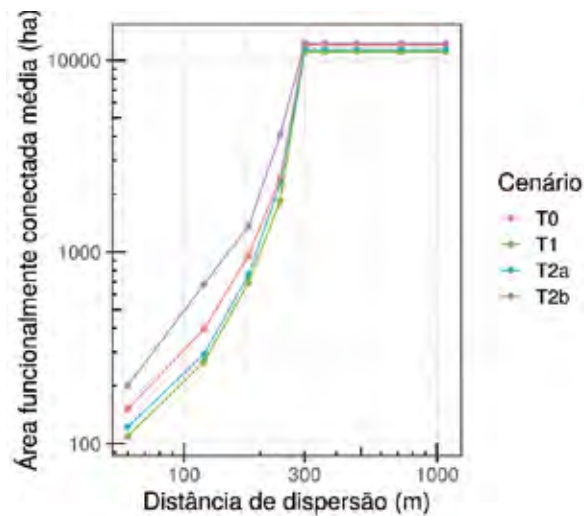
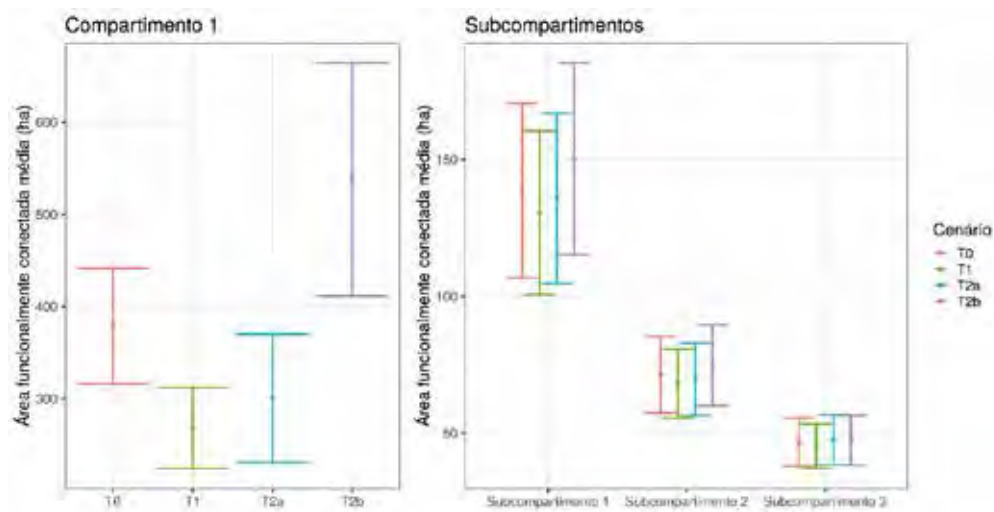


Figura 160 – Área funcionalmente conectada média dos fragmentos funcionais que cruzam o Compartimento 1 (esquerda) e em cada um dos três subcompartimentos do Compartimento 1 (direita), para os quatro cenários de modelagem. Essa média foi calculada somente para os organismos com capacidade de dispersão menor que 300m.

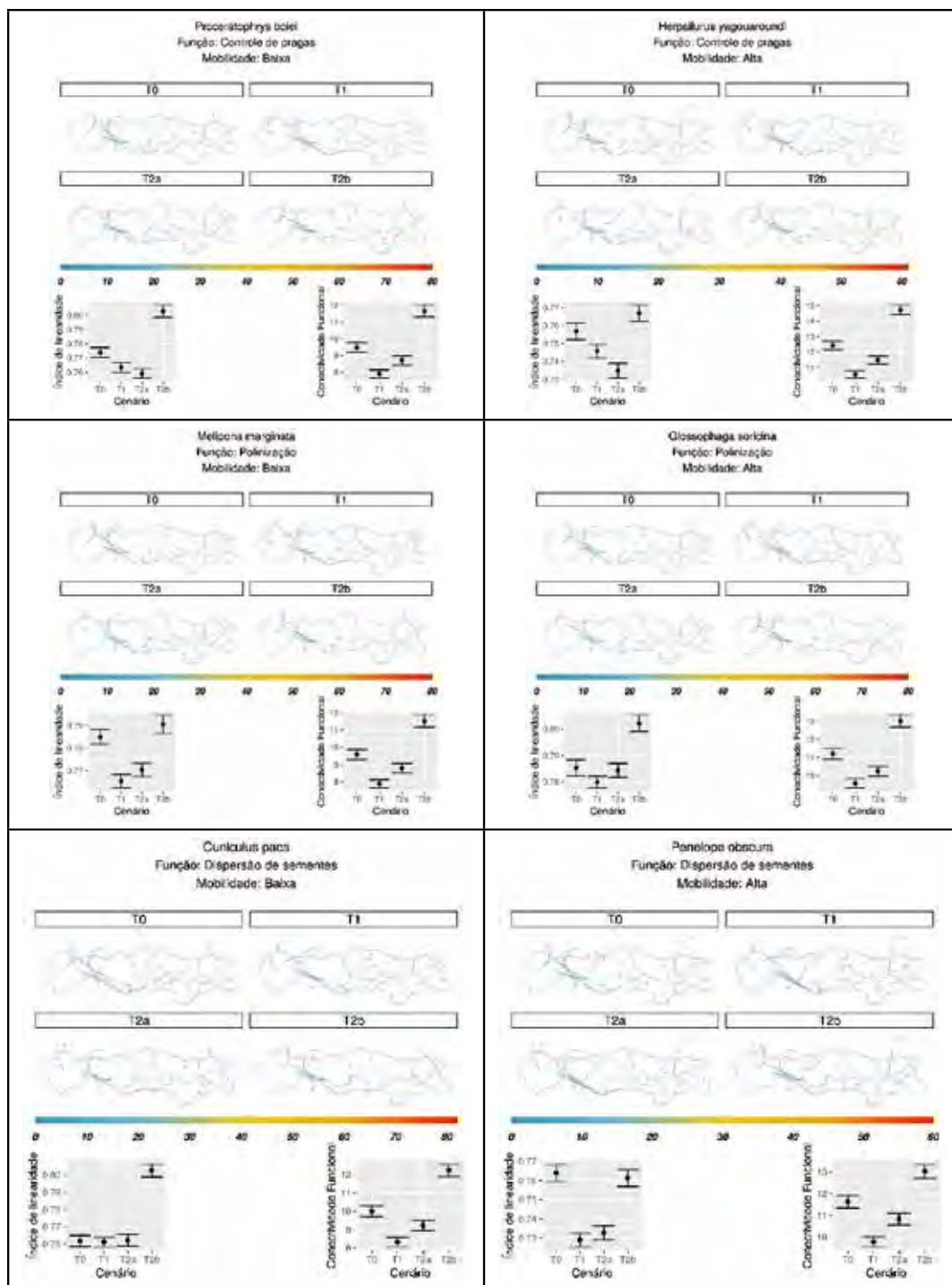


Com relação ao índice de linearidade, a segunda métrica avaliada neste dano, os resultados indicam que, isoladamente, a ação da regeneração natural (cenário T2a) não é suficiente para restaurar os padrões deste indicador aos valores obtidos no pré-desastre, ainda que tenha havido tendência de retorno. Já no cenário futuro com ações de mitigação em adição à regeneração, T2b, o aumento considerável das áreas florestais leva ao aumento da linearidade dos corredores novamente, mantendo a diminuição deste índice para as espécies transmissoras de doenças. Em vários casos, este índice chega a ultrapassar os valores da linha base, relativos a T0, indicando melhoria da linearidade prevista na região (Figura 161).

Quando se leva em consideração o índice de conectividade funcional nos cenários futuros, os modelos indicam que a conectividade pode aumentar para todas as espécies com a regeneração natural no cenário T2a, mas para nenhuma delas esse índice atinge valores da linha base. No cenário

alternativo, que adiciona as ações de mitigação a esta regeneração (cenário T2b), além de restaurar a conectividade da linha base, todos os grupos funcionais apresentam potencial de aprimorar os índices de conectividade na paisagem em relação ao pré-desastre, à exceção dos táxons transmissores de doenças (Tabela 23; Figura 161).

Figura 161 – Resultados da modelagem de corredores ecológicos para dez espécies da fauna. Em cada quadro ilustram-se mapas com o índice de frequência de seleção de rotas (RSFI), com as cores correspondentes ao número de corredores que cruzaram cada pixel (acima); e valores dos índices de linearidade e conectividade funcional médio para cada espécie (abaixo), nos quatro cenários de modelagem.



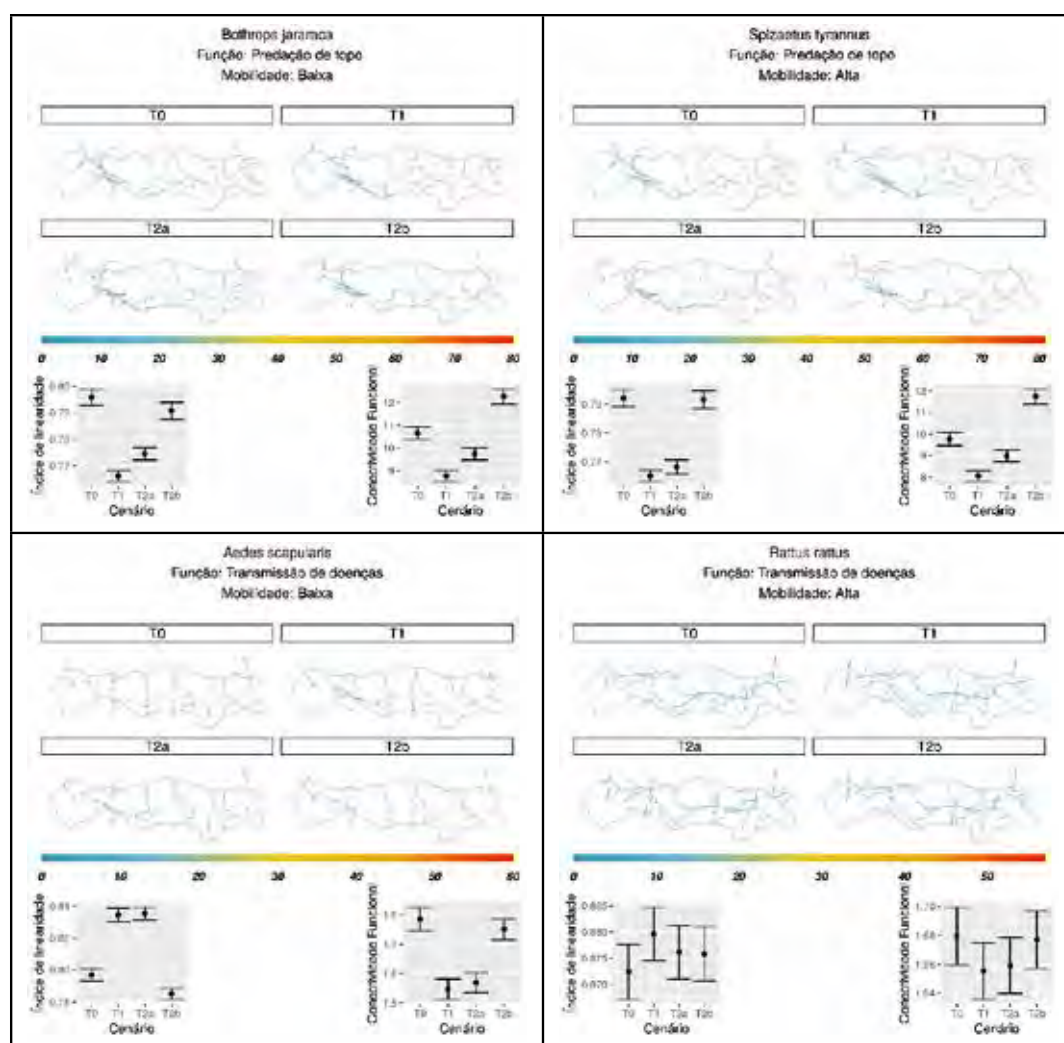


Tabela 23 – Modificação percentual do índice de conectividade funcional entre os cenários pré-desastre (T0) pós-desastre (T1) e previsões de recuperação vegetal (T2a e T2b). As mudanças percentuais são em relação ao valor de conectividade funcional.

Espécie	Função ecossistêmica	Grau de mobilidade	T1-T0 (%)	T2a-T0	T2b-T0
<i>Herpailurus yagouaroundi</i>	Controle de pragas	Alta	-15,1	-7,7	18,6
<i>Proceratophrys boiei</i>	Controle de pragas	Baixa	-16,7	-8,1	23,0
<i>Glossophaga soricina</i>	Polinização	Alta	-14,7	-8,6	16,2
<i>Melipona marginata</i>	Polinização	Baixa	-17,8	-8,4	20,2
<i>Penelope obscura</i>	Dispersão de sementes	Alta	-15,8	-6,9	12,1
<i>Cuniculus paca</i>	Dispersão de sementes	Baixa	-16,8	-7,8	22,4
<i>Spizaetus tyrannus</i>	Predação de topo	Alta	-17,6	-7,9	20,3
<i>Bothrops jararaca</i>	Predação de topo	Baixa	-17,6	-8,6	15,1
<i>Rattus rattus</i>	Transmissão de doenças	Alta	-1,5	-1,2	-0,2
<i>Aedes scapularis</i>	Transmissão de doenças	Baixa	-13,5	-12,2	-2,0

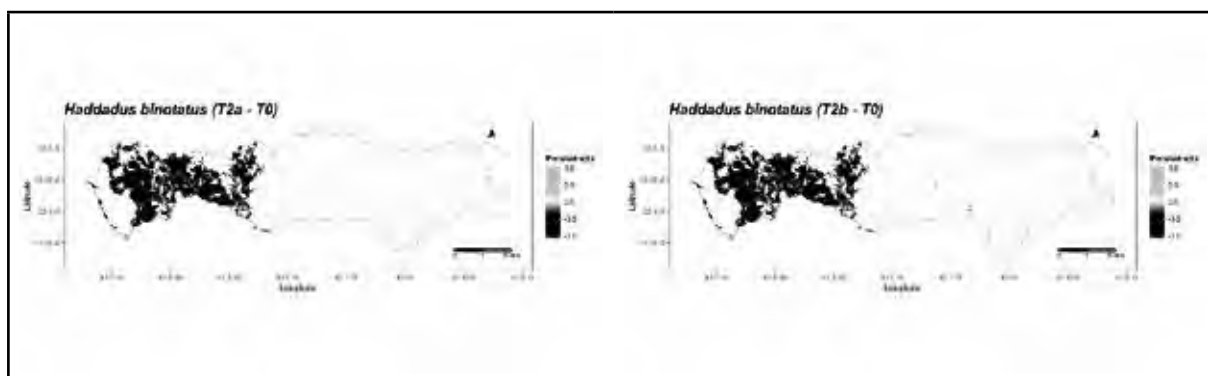
Este dano foi identificado por três dos indicadores avaliados (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d), tendo sido considerado um dano cessado e reversível. De fato, considerando os resultados indicativos das modelagens dos cenários futuros, várias das métricas utilizadas podem ser revertidas aos padrões encontrados no pré-desastre, muito embora mesmo no cenário mais otimista há previsões que muitas métricas não consigam se recuperar. Deve-se considerar que todos os cenários são baseados na recuperação total de áreas florestais, seja pela regeneração natural, seja pela restauração ativa proposta pela Renova; ou seja, as áreas consideradas como “floresta” nos modelos correspondem, de fato, a florestas maduras e ecologicamente funcionais. Assim, estas são situações otimistas que consideram a totalidade das áreas sob manejo terem se tornado florestas maduras. Sendo assim, mantém-se as interpretações deste dano.

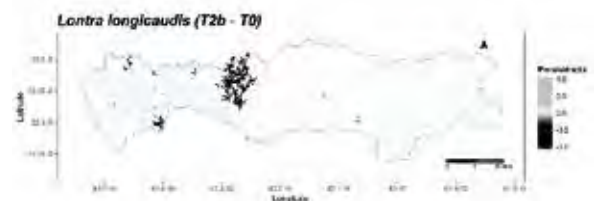
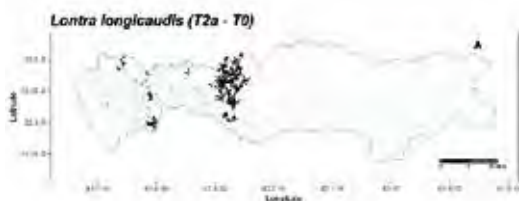
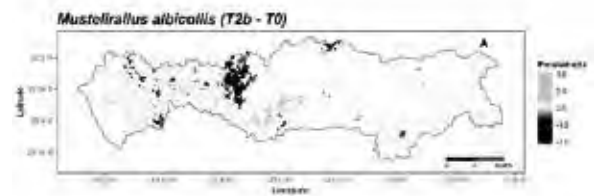
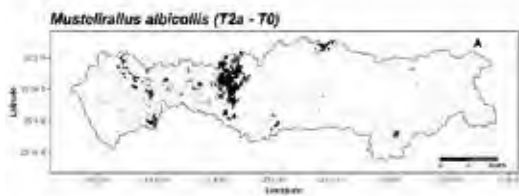
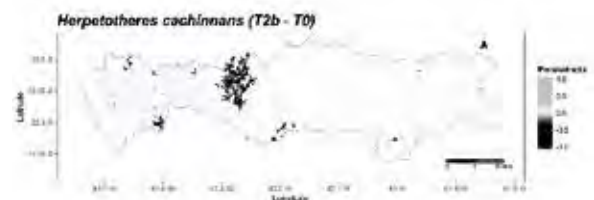
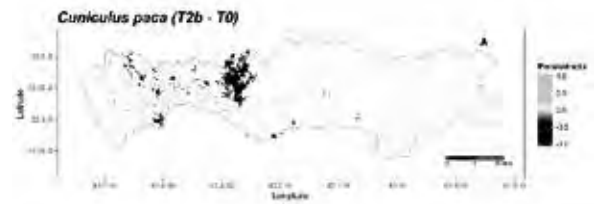
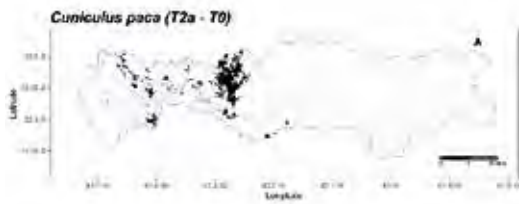
2.4.5 PERDA DE ADEQUABILIDADE AMBIENTAL

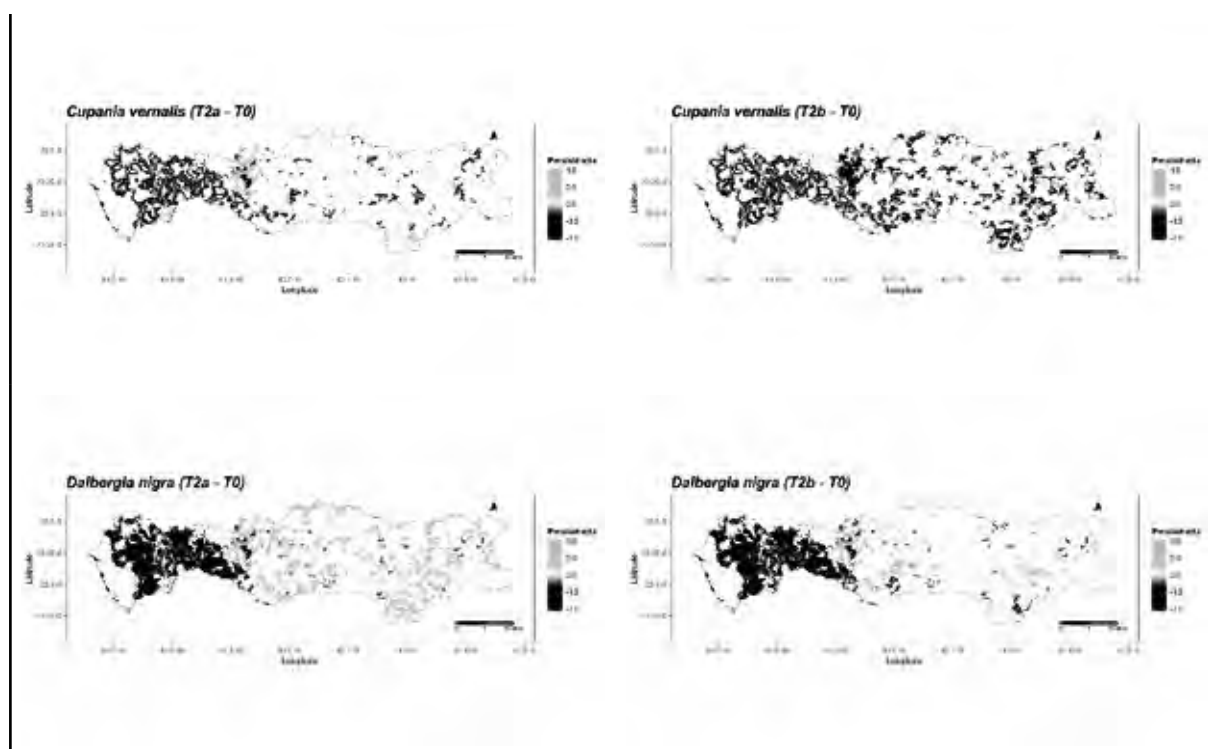
Da mesma forma que o dano anterior (Perda da conectividade na paisagem, p. 250), este dano é acompanhado pela avaliação dos resultados das modelagens nos cenários T2a e T2b, descritos no tópico supracitado. Avaliam-se comparativamente os resultados dos modelos das espécies indicadoras, de modo a permitir interpretações acerca dos efeitos em potencial de realização de ações de mitigação no Compartimento 1.

Diferentemente da avaliação no diagnóstico (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d), que buscava dados numéricos para a quantificação do dano, nesta análise o interesse é em verificar se os modelos dos cenários futuros indicam a possibilidade de reversão dos danos à adequabilidade ambiental das espécies selecionadas. Similar aos cenários pré e pós desastre, células com valores negativos indicam a permanência de danos (quando $T0 > T2a$ ou $T2b$), enquanto células com valores positivos indicam recuperação dos valores de adequabilidade nos cenários futuros (quando $T0 < T2a$ ou $T2b$; Figura 162).

Figura 162 – Mapas ilustrativos da comparação de adequabilidade ambiental das sete espécies indicadoras no Compartimento 1. Células mais escuras indicam locais cuja adequabilidade ambiental não se recupera entre os cenários futuros (T2a e T2b) e o pré-desastre (T0).







Em todos os casos os modelos identificam a ineficiência do cenário T2b, que considera as atividades de mitigação aliada à regeneração natural, para restaurar a adequabilidade ambiental das espécies indicadoras, tanto da fauna, quanto da flora. Há também uma convergência notável da localização dos danos permanentes: para a fauna, nota-se que o dano permanece ao longo da APDL e em uma grande área de fragmentos no terço médio do Compartimento 1 (Figura 162). Para as duas espécies da flora e particularmente para *Cupania vernalis*, por outro lado, a permanência dos danos nos cenários futuros abrange grandes áreas por todo o compartimento. A partir destes resultados, é possível afirmar que os prejuízos à ocupação por estas espécies vegetais se distribuem por todo o Compartimento 1, indicando que medidas que elevam a conectividade dos remanescentes são fundamentais para retornar a qualidade ambiental da paisagem para a flora.

Sintetizando os resultados para fauna, independente do grupo funcional, dos atributos fisiológicos ou da história natural das espécies modeladas, todos os modelos identificaram danos concentrados na região oeste do Compartimento 1. Os resultados mais alarmantes são a perpetuidade temporal dos danos para todas as espécies, mesmo no cenário mais otimista de restauração vegetacional (que considera as medidas de mitigação tomadas pela Fundação Renova adicionalmente à regeneração natural). Esses resultados salientam que as medidas de mitigação planejadas pela Fundação Renova (cenário T2b) parecem não ser eficientes em mitigar os danos. Os modelos que utilizaram dados das espécies vegetais apresentaram resultados similares aos modelos para fauna, mas indicam que a distribuição espacial dos danos às espécies vegetais é mais extensa que aquela consignada à fauna. No entanto, tampouco para a flora os cenários futuros parecem ser capazes de restaurar a qualidade ambiental para a biodiversidade terrestre. Assim, a proposta de restauração das áreas florestais nesse recorte geográfico, ao não ponderar aspectos ecológicos do ecossistema que se manifestam em escala de paisagem, pode levar à recuperação parcial das populações de vertebrados locais.

2.4.6 PERDA DE BIODIVERSIDADE TERRESTRE

Uma nova abordagem de avaliação dos danos à biodiversidade terrestre foi realizada por meio de análises espaciais e modelagens de nicho, que se encontram detalhadas nos Documentos Suplementares “Avaliação Hierarquizada Espacial e Temporal dos Danos Decorrentes do Desastre de Rompimento da Barragem do Fundão sobre a Biodiversidade de Fauna e Flora” e “Dinâmica Temporal da Composição de Espécies em Diferentes Comunidades de Fauna Terrestre nas Proximidades de Rios Afetados, ao Longo da Bacia do Rio Doce”, bem como no Apêndice G. Para esta avaliação, de cunho mais generalista, foram utilizadas duas métricas ecológicas, diversidade alfa e diversidade beta.

2.4.6.1 Diversidade alfa

A diversidade alfa foi mensurada a partir da predição dos valores de riqueza (número) de espécies de fauna e flora ao longo dos quatro cenários temporais utilizados nas modelagens do diagnóstico anterior (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d). Foram analisadas 41 espécies de animais e 26 espécies de plantas terrestres, construindo-se modelos de nicho ecológico para cada uma delas. Além do mapeamento de adequabilidade climática, fornecido por esses modelos, foram utilizadas três métricas de paisagens como variáveis ambientais, apresentadas anteriormente (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d): área florestal funcionalmente conectada (ha), área de bordas entre habitat e matriz (m) e área dos fragmentos florestais (ha). As métricas de paisagem permitem inferir a adequabilidade ambiental para as espécies, levando em consideração sua capacidade de movimentação entre os fragmentos e sua sensibilidade à matriz florestal. Ademais, estas variáveis foram alteradas pelo desastre, pela remoção da vegetação florestal, formando diferentes paisagens ao longo dos cenários temporais estudados. Assim, a comparação entre os cenários temporais permite avaliar os efeitos da modificação da paisagem sobre a riqueza de espécies, levando à quantificação e mapeamento dos danos, assim como estimar a potencial reversão dos mesmos nos cenários futuros, T2a e T2b, descritos em tópico anterior (Item 2.2.4 – Perda de conectividade na paisagem).

Na escala da APDL os modelos indicam média aproximada de 17 espécies de plantas vegetais por pixel no cenário pré-desastre (T0), com diminuição drástica do valor médio no cenário pós-desastre (T1) (1 espécie; Tabela 24). Esta redução está diretamente relacionada à ação de remoção da vegetação promovida pela passagem da lama. Em nenhum dos cenários futuros aqui analisados há indicação de retorno às condições pré-desastre, muito embora o cenário que considera a restauração ativa (T2b) identifique reversão melhor do dano (15 espécies, em média) em comparação ao cenário que conta somente com a regeneração natural (T2a; 5 espécies, em média). Assim, caso a proposta de recuperação proposta pela Fundação Renova seja eficaz, transformando toda a área prevista para a ação em ambientes florestais maduros, somadas à regeneração natural dos remanescentes florestais da região, os modelos preveem aumento do número e do tamanho dos fragmentos florestais ao longo da APDL (veja BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d) e consequente elevação da riqueza de espécies vegetais.

Em escala mais ampla, considerando o Compartimento 1 em sua totalidade, as predições no cenário pré-desastre atingem a média de 17 espécies na região, riqueza que caiu para aproximadamente 15 espécies no cenário pós-desastre (Tabela 24). Este resultado, embora numericamente menos

drástico, aponta para ocorrência de danos em escalas espaciais que vão além da APDL, desencadeados pela modificação da paisagem florestal da região, afetando a área funcionalmente conectada (ha) e a área dos fragmentos florestais (ha). Similar aos resultados para APDL, nesta escala geográfica os modelos também indicam que nenhum dos cenários futuros parecem devolver a riqueza de plantas aos padrões pré-desastre. O cenário que considera a regeneração natural dos remanescentes (T2a) prediz riqueza maior (16 espécies, em média) do que o cenário que alia a restauração ativa à regeneração (T2b; 15 espécies, em média). Estes valores sugerem que em todo o Compartimento 1 nenhuma das estratégias previstas parece ser suficiente para retornar a riqueza vegetacional aos padrões pré-desastre; ao mesmo tempo, há indícios de que subsidiar a regeneração natural dos remanescentes florestais de toda a região pode ser uma estratégia eficaz para aumentar a potencial recuperação da biodiversidade florística.

Tabela 24 – Número médio de espécies vegetais por pixel previstas pelas modelagens nos cenários temporais pré-desastre (T0), pós-desastre (T1) e nos cenários futuros (T2a e T2b) na APDL e no Compartimento 1. Os valores entre parênteses referem-se à proporção da riqueza de cada cenário em relação à riqueza em T0.

Riqueza	APDL	Compartimento 1
T0	16,57	17,13
T1	1,41 (8,5%)	14,77 (86,2%)
T2a	5,35 (32,3%)	15,75 (91,9%)
T2b	15,13 (91,3%)	15,17 (88,6%)

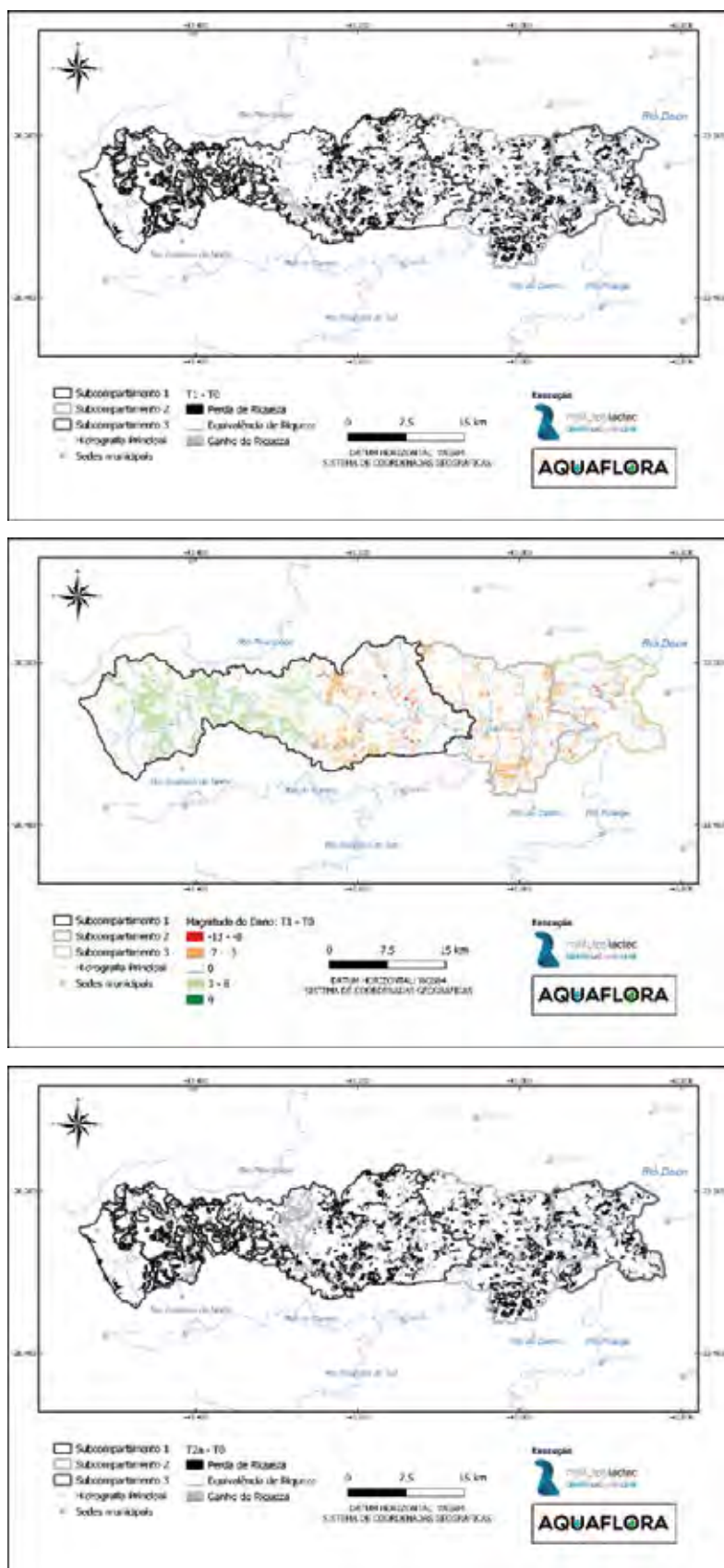
Avaliando-se mais detalhadamente os padrões de perda de riqueza nos três subcompartimentos do Compartimento 1, tem-se que o dano não se restringe às áreas mais próximas da barragem de Fundão (subcompartimento 1). Além disso, a magnitude dos danos está relacionada ao tamanho dos fragmentos florestais (Tabela 25). Conforme os resultados da modelagem, fragmentos de tamanho inferior a 5 ha não demonstram ter sofrido danos no cenário pós-desastre (T1), exceto na APDL, onde a vegetação foi removida. Fragmentos florestais com áreas entre 6 e 50 ha, assim como fragmentos entre 51 e 2500 ha, sofreram perdas de espécies no cenário pós-desastre (T1), ao passo que o maior dos fragmentos, localizado no subcompartimento 1 e com área maior do que 2500 ha, manteve riqueza estável entre os momentos pré-desastre e pós-desastre. Tal fenômeno relaciona-se ao tamanho do fragmento, que lhe confere maior resiliência, mantendo número médio de espécies constante entre os cenários, mesmo tendo sofrido perdas de áreas florestal e aumento de áreas de borda. Também nos cenários futuros há dependência da recuperação em função do tamanho dos fragmentos florestais. Fragmentos menores do que 50 ha apresentam maior possibilidade de reversão dos danos no cenário T2b, associado ao foco das ações emergenciais, principalmente em regiões com fragmentos menores. O cenário que conta apenas com regeneração natural (T2a), mesmo assim, é mais eficiente na reversão parcial dos danos em fragmentos maiores, de até 2500 ha. Não obstante, os modelos indicam que pode não ocorrer a reversão total dos danos em nenhum dos cenários, mesmo após a completa recuperação das áreas propostas pela Renova em paralelo à regeneração de todas as áreas com alto potencial natural.

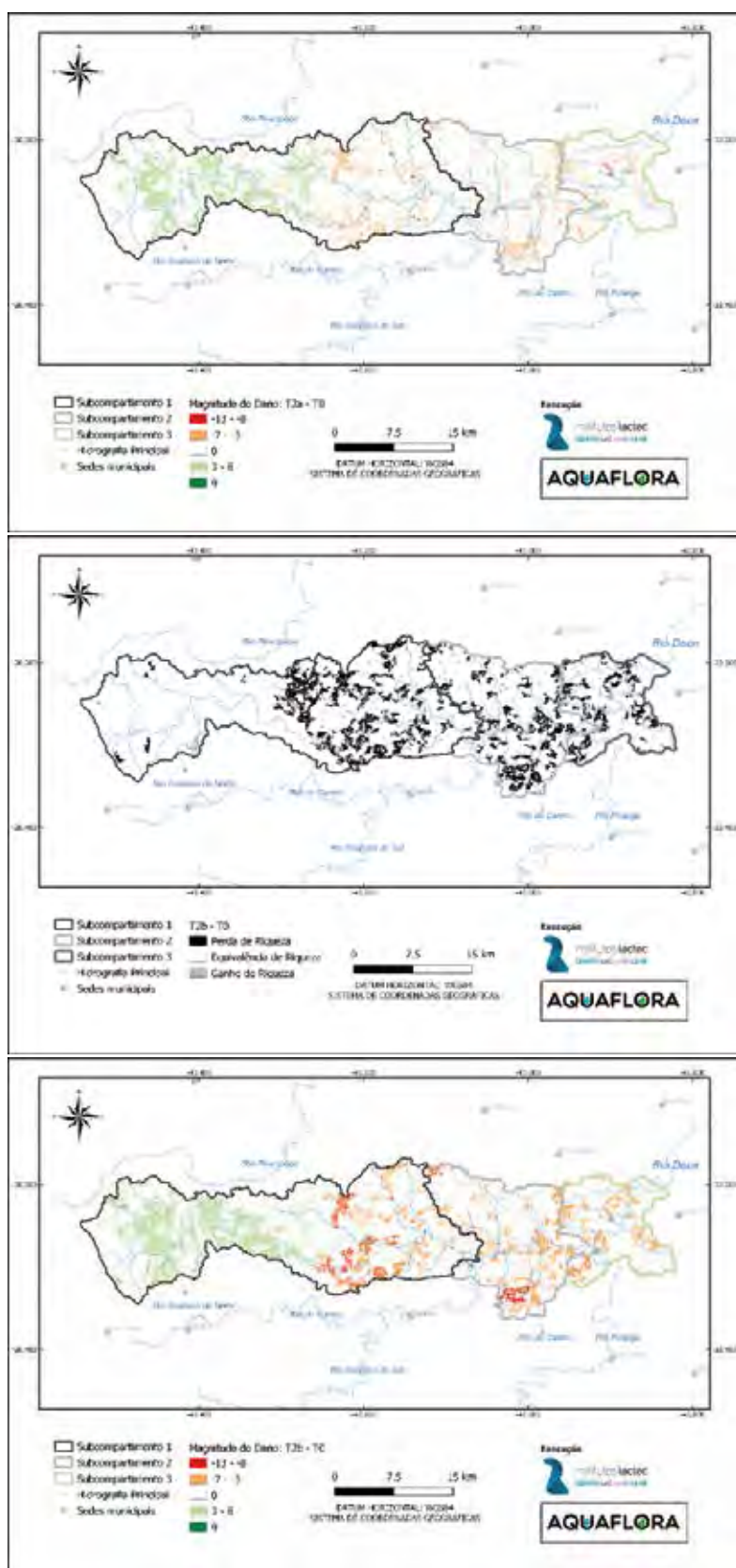
Tabela 25 – Riqueza média de espécies vegetais nas diferentes classes de tamanho dos fragmentos florestais dos três subcompartimentos, nos cenários pré-desastre (T0) e pós-desastre (T1), a proporção da riqueza em T1 em relação à riqueza em T0 (T1/T0); e nos cenários de regeneração natural (T2a) e restauração ativa (T2b). As cores das células nos cenários futuros representam perdas de riqueza (vermelho), ganhos de riqueza (azul) ou riqueza similar (amarelo) em relação ao pré-desastre. As classes destacadas como * referem-se a porções de um grande fragmento que ultrapassa os limites dos respectivos subcompartimentos.

Sub compartimento	Classe de Área (ha)	Área total (ha)	Área média (ha)	N	T0	T1	T1/T0 (%)	T2a	T2b
1	≤5	743,31	2,86	260	10,35	10,33	99,8	12,08	13,00
	6-10	436,77	7,81	56	12,15	10,12	82,3	11,87	12,91
	11-50	1433,34	26,37	54	14,23	11,06	77,7	13,02	13,44
	51-500	4048,38	198,10	20	22,33	17,36	72	18,39	15,21
	501-1000	22,14	537	1*	24,00	17,06	71,1	18,20	14,87
	1001-2500	601,83	1113	1*	20,82	16,32	78,4	17,36	13,40
	>2500	16.013,43	15.793,6	1*	15,29	15,40	100	15,54	15,82
	Total			-	16,38	14,72	89,9	15,49	15,35
2	≤5	375,30	3,10	121	9,73	9,84	101,2	11,35	12,35
	6-10	349,11	7,83	45	12,03	10,09	83,9	11,73	12,54
	11-50	1628,10	27,84	58	14,71	11,58	78,8	13,49	13,84
	51-500	2858,13	169,48	17	22,17	17,85	80,5	18,72	16,12
	501-1000	745,20	591,17	1	23,6	17,65	74,8	18,67	13,89
	1001-2500	431,64	1.189	1*	21,82	15,85	72,6	16,87	14,96
	>2500	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total				19,13	15,03	78,6	16,44	14,79
3	≤5	304,11	2,91	105	10,23	10,24	100,2	11,92	12,75
	6-10	148,23	7,89	19	10,96	9,5	86,6	10,90	11,59
	11-50	913,41	26,60	34	14,6	11,02	75,5	13,25	13,84
	51-500	1844,64	194,45	9	22,08	17,71	80,2	18,59	15,68
	501-1000	-	-	-	-	-	-	-	-
	1001-2500	324,90	1.189	1*	21,38	15,75	73,7	16,76	14,92
	>2500	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total				18,58	14,62	78,7	16,14	14,71

Estes resultados destacam a heterogeneidade dos danos à vegetação no Compartimento 1, assim como revelam que a extensão geográfica da perda de biodiversidade vegetal não se limita aos arredores da APDL, tendo-se detectado perdas de espécies em todo o Compartimento 1 (Figura 163). Ainda, os danos de maior magnitude foram encontrados na porção leste da área de interesse (Figura 163), mais próximas da UHE Risoleta Neves, e são consequência das alterações ocasionadas pela modificação da paisagem, e não somente devido à remoção da vegetação na APDL. A partir dessas interpretações, demonstra-se a necessidade de instaurar medidas compensatórias na maior escala espacial estudada, de modo a reverter os danos causados à riqueza de espécies vegetais no Compartimento 1. Além disso, os modelos que consideram cenários futuros apontam para a insuficiência das medidas propostas pela Fundação Renova para recuperação deste dano – riqueza de espécies de plantas – seja ao longo da APDL, seja no Compartimento 1 como um todo.

Figura 163 – Compartimento 1, indicando a distribuição de perdas e ganhos de espécies (esquerda) e diferença de riqueza de espécies vegetais (direita) entre os cenários T1 (pós-desastre), T2a (regeneração natural) e T2b (regeneração e restauração) em relação a T0 (pré-desastre).





Os resultados da análise de diversidade alfa com espécies animais revelam perda de espécies na APDL no cenário pós-desastre (Tabela 26), ocasionado pela modificação da paisagem, especificamente a diminuição do tamanho dos fragmentos e perda de conectividade funcional e estrutural da paisagem (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d). O desastre pode ter afetado as espécies animais também

pela ação direta do rejeito, devido ao soterramento, mas as adulterações na paisagem exercem efeitos mais extensos sobre muitas espécies, que perdem seu potencial de dispersão entre os fragmentos, acarretando na diminuição da riqueza na paisagem e caracterizando este dano sobre a biodiversidade animal. Na escala de todo o Compartimento 1, os modelos indicam que a magnitude do dano no cenário pós-desastre (T1) é pequena, mas também houve perda de espécie em comparação ao cenário pré-desastre (T0; Tabela 26). Dentre os cenários futuros, o efeito da restauração ativa proposta pela Renova (T2b) indica diminuição da riqueza média por pixels na paisagem, seja na APDL (25 espécies, em média), seja no Compartimento 1 como um todo (24 espécies, em média). O modelo sob cenário que conta apenas com a regeneração natural (T2a), por sua vez, resulta em riqueza maior que T0 na APDL (32 espécies, em média) ou similar a T0 no Compartimento 1 inteiro (29 espécies, em média).

Tabela 26 – Número médio de espécies de fauna por pixel previstas pelas modelagens nos cenários temporais pré-desastre (T0), pós-desastre (T1) e nos cenários futuros (T2a e T2b) na APDL e no Compartimento 1. Os valores entre parênteses referem-se à proporção da riqueza em T1, T2a e T2b em relação à riqueza em T0.

Riqueza	APDL	Compartimento 1
T0	31,04	29,19
T1	28,18 (90,8%)	28,28 (96,9%)
T2a	32,21 (104%)	28,82 (98,7%)
T2b	25,27 (83%)	23,61 (80,9%)

De modo similar ao observado nos dados da flora, a análise espacial dos resultados das modelagens de riqueza de espécies animais indica que a ocorrência e magnitude do dano dependem do tamanho dos fragmentos (ha) e variam entre os subcompartimentos.

No subcompartimento 1 como um todo, os modelos indicam sutil aumento do número de médio de espécies por pixel no cenário pós-desastre (T1) em comparação ao pré-desastre (T0; Tabela 27). No entanto, este resultado pode ser melhor compreendido ao avaliar a variação de riqueza nos fragmentos de diferentes tamanhos. De fato, exceto para o único grande fragmento com mais de 2500 ha, os modelos identificam perdas de riqueza média de espécies da fauna na paisagem. Apenas nesse grande fragmento os modelos detectam aumento no número médio de espécies por pixel, o que pode ser interpretado também como consequência dos danos, visto que a paisagem como um todo perde qualidade ambiental, restando esse setor como refúgio à fauna regional. Nos subcompartimentos 2 e 3, que não contam com nenhum fragmento com área maior do que 2.500 ha, os resultados detectam perda de espécies no cenário pós-desastre (T1) na totalidade desses setores, e também em todas as classes de tamanho dos fragmentos.

Esse padrão é também identificado nos resultados dos modelos dos cenários futuros. Nos subcompartimentos 2 e 3 há perda de riqueza média da fauna em todas as classes de tamanho dos fragmentos florestais. No subcompartimento 1, por sua vez, os cenários indicam que a riqueza média atinge os padrões pré-desastre no cenário T2b (restauração ativa conforme proposta da Renova) e supera os valores médios do pré-desastre no cenário T2a (apenas sob regeneração natural de toda região). Estes resultados são influenciados pela presença do único grande fragmento florestal desse subcompartimento, com mais de 2500 ha, visto que todas as demais classes de tamanho apresentam perdas de riqueza média. Estes resultados podem ser interpretados como agregações nos ambientes de maior qualidade ambiental na paisagem. Como há menos áreas de boa qualidade ambiental na paisagem nesses cenários, os modelos

relacionam os locais com maior conectividade e menor isolamento como habitáveis, levando maior número de espécies a selecionar aquelas como adequadas apenas na região com grande cobertura florestal.

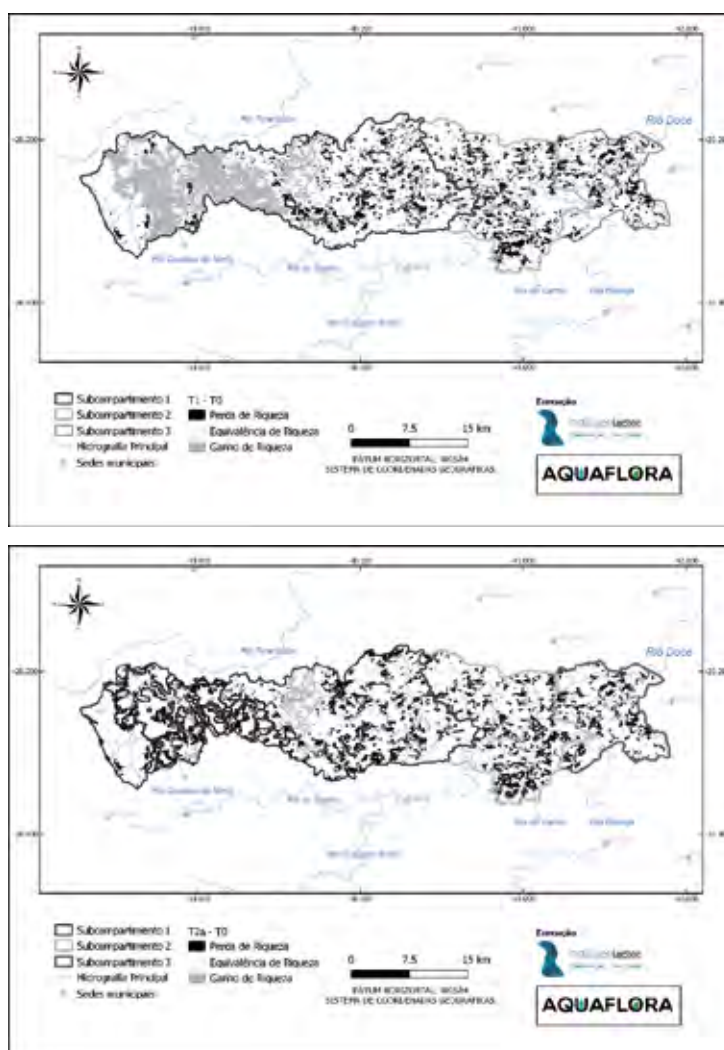
Esta interpretação faz sentido biológico pois, devido à mobilidade e capacidade de dispersão dos animais, pode ocorrer o adensamento de espécies nos fragmentos que persistem na paisagem, destacando relevância de grandes fragmentos florestais para resiliência da biodiversidade. Esta análise é reforçada pelo fato de os subcompartimentos que não apresentam fragmentos deste tamanho não revelam esta capacidade de adensamento e, assim, não conseguem manter a riqueza média de sua paisagem.

Tabela 27 – Riqueza média de espécies de fauna nas diferentes classes de tamanho dos fragmentos florestais dos três subcompartimentos, nos cenários pré-desastre (T0) e pós-desastre (T1), e proporção da riqueza em T1 em relação à riqueza em T0 (T1/T0); e nos cenários de regeneração natural (T2a) e restauração ativa (T2b). As cores das células nos cenários futuros representam perdas de riqueza (vermelho), ganhos de riqueza (azul) ou riqueza similar (amarelo) em relação ao pré-desastre. As classes destacadas como * referem-se a porções de um grande fragmento que ultrapassa os limites dos respectivos subcompartimentos.

Subcompartimento	Classe de Área (ha)	Área total (ha)	Área média (ha)	N	T0	T1	T1/T0 (%)	T2a	T2b
1	≤5	743,31	2,86	260	15,39	12,43	80,8	12,41	12,95
	6-10	436,77	7,81	56	17,71	14,67	82,8	14,32	13,56
	11-50	1433,34	26,37	54	20,15	16,83	83,5	16,38	12,49
	51-500	4048,38	198,10	20	29,49	24,69	83,7	25,35	15,62
	501-1000	22,14	537,00	1*	33,00	28,56	86,5	28,44	15,46
	1001-2500	601,83	1113,00	1*	35,88	33,43	93,2	33,40	21,56
	>2500	16.013,43	157.936	1*	32,29	36,11	111,8	36,25	32,83
	Total			-	30,38	30,63	100,8	31,34	27,24
2	≤5	375,30	3,10	121	15,66	12,85	82,1	12,72	13,30
	6-10	349,11	7,83	45	17,88	14,97	83,7	14,56	13,83
	11-50	1628,10	27,84	58	20,23	16,98	83,9	16,44	12,23
	51-500	2858,13	169,48	17	29,07	25,56	87,9	25,54	15,67
	501-1000	745,20	591,17	1	33,69	29,90	88,8	29,80	16,42
	1001-2500	431,64	1189,00	1*	35,98	34,53	96,0	34,53	21,06
	>2500	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total				26,41	22,91	86,7	22,97	14,96
3	≤5	304,11	2,91	105	15,44	12,33	79,9	12,29	13,00
	6-10	148,23	7,89	19	17,31	14,79	85,5	14,57	14,48
	11-50	913,41	26,60	34	20,43	16,64	81,5	16,33	12,11
	51-500	1844,64	194,45	9	29,76	25,45	85,5	25,88	15,37
	501-1000	-	-	-	-	-	-	-	-
	1001-2500	324,90	1189,00	1*	35,94	34,59	96,2	34,58	21,68
	>2500	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total				26,12	22,14	84,8	22,51	14,83

As predições de riqueza indicam a ocorrência de danos nas espécies animais no cenário pós-desastre (T1), cuja magnitude está associada ao tamanho dos fragmentos florestais: há perda de espécies para fragmentos de todas as classes de área, à exceção do único fragmento com área superior a 2500 ha, localizado no subcompartimento 1, para o qual os modelos indicam ganho de espécies (Figura 164). Além disso, os danos no cenário pós-desastre (T1) são preditos para todas as escalas espaciais avaliadas (APDL, Compartimento 1 e subcompartimentos), revelando que os danos à biodiversidade faunística extrapolam os limites da APDL. Estes danos tendem a não ser revertidos conforme modelagem dos cenários futuros, pois mesmo que a riqueza média por pixel seja semelhante ao pré-desastre no cenário sob regeneração natural (em todo o Compartimento 1), uma análise mais pormenorizada consegue identificar que o único grande fragmento (presente no subcompartimento 1) é responsável por adensar a qualidade ambiental da paisagem toda, mas ainda se estimam perdas de riqueza em todos os demais fragmentos florestais da região.

Figura 164 – Compartimento 1, indicando a distribuição de perdas e ganhos de espécies da fauna entre os cenários T1 (pós-desastre), T2a (regeneração natural) e T2b (regeneração e restauração) em relação a T0 (pré-desastre).





2.4.6.2 Diversidade beta

264

A métrica utilizada para esta mensuração foi calculada a partir de índices de beta diversidade de Sorensen, comparando-se as amostras de cada Campanha ao longo dos meses (t_n), sempre em relação à primeira Campanha de cada Sítio Amostral, de modo a se obter uma medida de variação de composição ao longo do tempo e do gradiente geográfico. Valores de diversidade beta próximos a 1 indicam grande mudança na composição de espécie entre o t_n e t_1 , ou seja, as comunidades biológicas de um mesmo sítio amostral diferem totalmente entre si. Por outro lado, valores próximos a 0 indicam pequenas diferenças de composição, ou seja, comunidades que variam pouco suas espécies ao longo do tempo.

Espera-se que os sítios Tratamento (TRAT1 e TRAT2) apresentem valores mais altos de diversidade beta ao longo do tempo, devido à maior rotatividade de espécies nos ambientes alterados (tanto por colonizações temporais ou emigrações mais frequentes, como por serem ambientes usados como passagem por muitas espécies). Espera-se também que os valores de diversidade beta no TRAT1 sejam maiores que no TRAT2, visto que o TRAT1 são locais que possivelmente tenham sofrido maiores efeitos dos danos do rompimento da Barragem e, portanto, tenham maior rotatividade de espécies e ainda não tenham se tornado ambientes estáveis. Os sítios Controle, por serem ambientes mais estáveis, onde encontram-se estabelecidos territórios fixos de várias espécies, e que parecem não ter sofrido efeitos do dano do rompimento, deverão ter valores de diversidade beta menores.

Para a avifauna foi possível identificar efeitos dos danos no Compartimento 1 (Figura 165), onde os Sítios Amostrais TRAT1 apresentam mudança média de composição entre as Campanhas em torno de 75%, enquanto nos sítios Controle (C) esta mudança é em média de 50%. Estes resultados indicam que as comunidades dos locais próximos ao rio Gualaxo do Norte encontram-se em um processo de desequilíbrio de sua dinâmica original e os efeitos das alterações ambientais parecem ainda repercutir sobre as comunidades atualmente. É notável, também, que o sítio TRAT2 apresenta resultados intermediários de variação na composição de espécies, aspecto que corrobora a interpretação dos efeitos do dano. Os dados de mamíferos de grande porte também revelam efeitos dos danos na diversidade beta: na UA1 o Sítio Tratamento (TRAT) apresenta valores consistentemente mais elevados que os do Sítio Controle (C) ao longo das amostragens (Figura 166). Este padrão ressalta que as comunidades em locais mais próximos ao local do desastre variaram mais sua composição de espécies ao longo do tempo do que a composição dos sítios Controle. A dinâmica temporal das comunidades próximas aos rios atingidos (TRAT), na UA1, é peculiar e muda mais que as comunidades de ambientes não influenciadas pelos danos do desastre (C). Por fim, no caso dos morcegos, as análises não indicam nenhum padrão evidente que seja interpretável como efeito dos danos à dinâmica das comunidades da quiropterofauna.

Figura 165 – Diferença da diversidade beta de avifauna das campanhas em relação à campanha 1 em cada Unidade Amostral (UA) presente nos Compartimentos 1, 2 e 3 da Bacia do rio Doce.

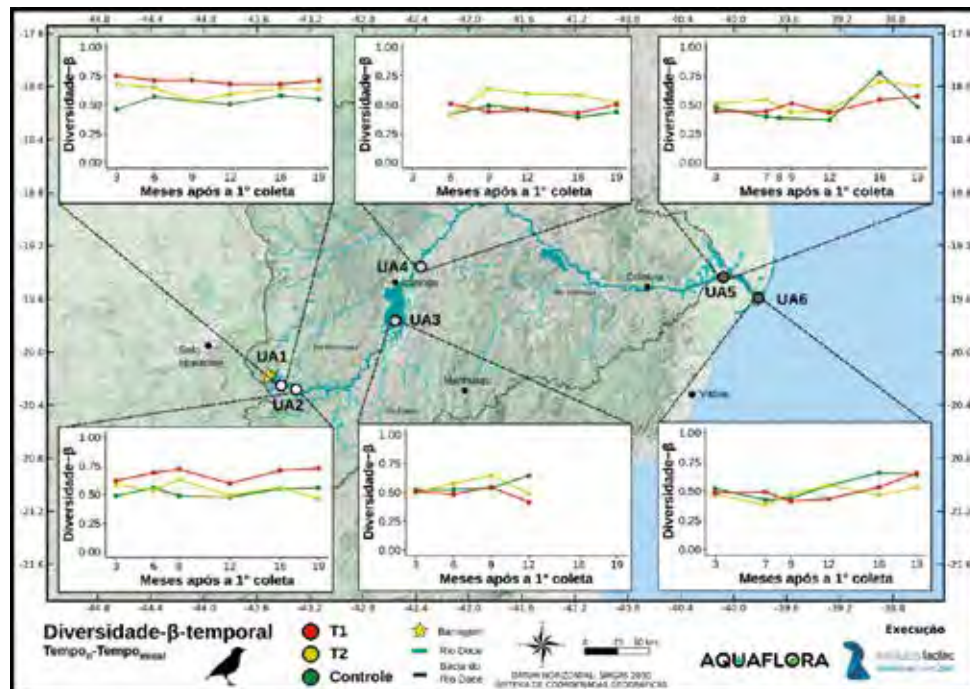
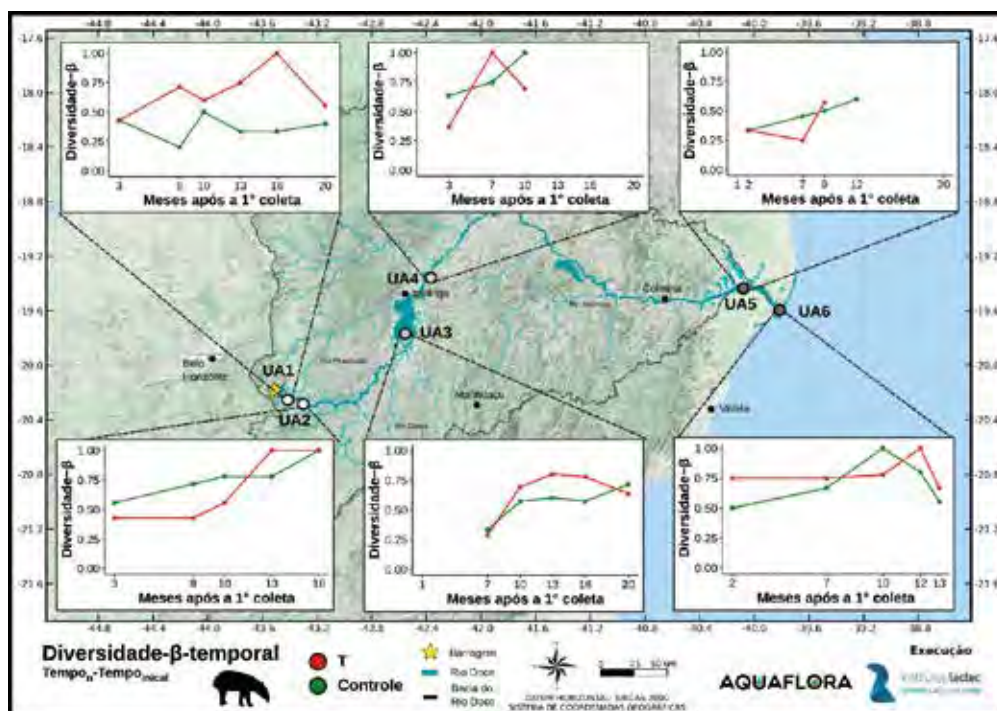


Figura 166 – Diferença da diversidade beta de grandes mamíferos da mastofauna das campanhas em relação à campanha 1 em cada Unidade Amostral (UA) presente nos Compartimentos 1, 2 e 3 da Bacia do rio Doce.



Coletivamente, estes resultados apontam para danos profundos às assembleias de aves e grandes mamíferos no Compartimento 1, visto tratarem-se de efeitos identificados em grande escala em grupos da fauna que se encontram no topo de cadeias tróficas; levanta-se a hipótese de danos ainda mais severos em comunidades animais de menor escala trófica. Danos sobre a dinâmica temporal da

fauna nos demais compartimentos são também possíveis, embora não revelados pela métrica aqui utilizada, mas que podem ser identificados em conjunto com avaliações de facetas da biodiversidade.

A classificação deste dano seguiu os mesmos critérios numéricos utilizados no diagnóstico (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d). Este dano é classificado como gravíssimo, por acometer mais de um dos grupos faunísticos e com relação às duas métricas avaliadas, limitado ao Compartimento 1. Trata-se de dano cessado, tendo em vista que os processos que levaram à adulteração das métricas em específico poderiam ser restauradas por meio da recuperação da vegetação florestal, e da conectividade desses habitats, naquele Compartimento. Nesse sentido, o dano é também considerado reversível.

2.4.7 COMPROMETIMENTO À SAÚDE DA FAUNA SILVESTRE E BIOACUMULAÇÃO DE ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS (EPTS)

2.4.7.1 Herpetofauna

2.4.7.1.1 Anfíbios

Os danos de alteração nas condições corporais e/ou na saúde e de alteração nas concentrações de EPTs – bioacumulação e/ou biomagnificação foi avaliado neste grupo através da análise de amostras de hemolisado sanguíneo de 60 indivíduos capturados em áreas controle (C) e dentro da APDL (DA) dos três compartimentos do rio Doce avaliados ao longo das quatro campanhas que compuseram este diagnóstico.

As análises realizadas, apesar do baixo número de indivíduos capturados ao longo das quatro campanhas, demonstraram que os anfíbios capturados nos pontos DA apresentaram alterações em todos os biomarcadores avaliados: mobilização de respostas dos sistemas antioxidantes e de biotransformação, alterações na osmolalidade e nas concentrações plasmáticas de elementos essenciais à manutenção da homeostasia e metabolismo, bem como danos ao DNA, peroxidação lipídica, variações nas concentrações de EPTs especialmente no compartimento três da terceira campanha, porém, os biomarcadores de genotoxicidade e mutagenicidade apresentaram alterações nos animais capturados no compartimento 1. Esses resultados foram compatíveis a estudos realizados com girinos capturados nos rios e riachos da região afetada pela passagem da onda de lama (JUNCÁ et al., 2017) ou submetidos à diferentes concentrações do rejeito proveniente da barragem de Fundão em condições laboratoriais (GIROTTI et al., 2020). É importante mencionar que o presente diagnóstico também identificou ausência de espécies aquáticas e, baixa disponibilidade de espécies fossoriais e terrestres no ponto DA do compartimento 3. Nos compartimentos 1 e 2 a situação foi ainda mais grave, pois, praticamente não foram encontrados espécimes deste grupo taxonômico, sejam eles aquáticos, fossoriais ou terrestres. Essa condição, muito provavelmente, tem relação com o fato de que nestes compartimentos estes organismos, que são pouco aptos à fuga, tenham sido soterrados pela grande quantidade de material e/ou força destrutiva da onda de lama.

Diante desse quadro os danos foram considerados gravíssimos uma vez que, independentemente do agrupamento realizado e compartimento avaliado, os anuros capturados nos pontos DA foram os únicos que apresentaram alterações nas condições de saúde e variações nas concentrações de EPTs entre pontos de um mesmo compartimento e ao longo do tempo. Além disso, como foi identificada

redução na riqueza, abundância e diversidade desses organismos, bem como a ocorrência, principalmente, de espécies generalistas e oportunistas, esse dano também denota o comprometimento dos habitats remanescentes, bem como da dinâmica de uso do ambiente pelas anfíbios o que, a longo prazo, pode levar à diminuição do fluxo gênico, perda da conectividade e redução de populações de espécies mais sensíveis. Ressalta-se que a bacia do rio Doce constituía uma das áreas com maior diversidade de anfíbios do estado de Minas Gerais na qual, inclusive, haviam registros de espécies endêmicas, com características únicas. Dezesete espécies de anuros da região, como algumas pertencentes aos gêneros *Hypsiboas* e *Proceratophrys*, foram classificadas como vulneráveis ou criticamente em perigo. Assim, os danos foram considerados irreversíveis e com tendência a aumentar, uma vez que esses animais são muito dependentes do ambiente aquático e, portanto, expostos a contaminação nos diferentes estágios de desenvolvimento. Como a contaminação perdura ao longo de toda a área de estudo, os mesmos continuarão absorvendo e, conseqüentemente, acumulando EPTs do meio, de modo que além de comprometer o *fitness* dos organismos podem alterar toda a dinâmica de relações inter e intra-específicas que poderão culminar em danos drásticos ao ecossistema. Assim, como é certo que os danos ainda não foram cessados, sugere-se o monitoramento contínuo dos aspectos ecológicos destas espécies, bem como das concentrações de EPTs nesses organismos para melhor acompanhamento dos danos. Para melhor detalhamento quanto aos danos aqui resumidos consultar o TOMO I – Contextualização, item Ecotoxicologia.

2.4.7.2 Avifauna

O dano de alteração nas concentrações de EPTs – bioacumulação e/ou biomagnificação foi avaliado neste grupo através da análise de penas de contorno de mais de 300 indivíduos capturados em áreas controle (C) e dentro da APDL (DA) dos três compartimentos do rio Doce avaliados ao longo das quatro campanhas que compuseram este diagnóstico.

As análises realizadas demonstraram a ocorrência de todos os elementos analisados nas penas destes organismos, onde a grande maioria desses estiveram em concentrações superiores nos indivíduos capturados no ponto DA em comparação às concentrações determinadas nas penas dos indivíduos capturados no ponto C, independentemente do compartimento avaliado. Demonstraram, ainda, que os danos de bioacumulação/biomagnificação ocorreram, especialmente – e de forma mais evidente – nos compartimentos 1 e 3, onde as aves apresentaram maior variedade e quantidade de elementos em elevadas concentrações nos pontos DA que as aves capturadas no ponto C, no entanto, mesmo que em menor magnitude, o mesmo padrão foi identificado no compartimento 2. Assim, a elevada contaminação identificada nas aves capturadas no ponto DA dos diferentes compartimentos reflete a disponibilidade desses elementos no ambiente como um todo.

Isso posto, os danos à avifauna foram considerados gravíssimos porque denota o comprometimento de organismos pertencentes a um bioma considerado prioritário para conservação, onde existe alto grau de endemismo e onde se encontra o maior número de espécies de aves particularmente sensíveis a alterações ambientais e ameaçadas de extinção no Brasil como, por exemplo, a espécie *Crax blumenbachii* - criticamente ameaçada e que vem sendo reintroduzida em MG e a espécie *Dysithamnus plumbeus* considerada ameaçada na região. Ainda, como os danos de bioacumulação e biomagnificação são irreversíveis, a tendência dos mesmos é aumentar visto que em decorrência do

desastre as áreas remanescentes tiveram perda de habitat e/ou qualidade. Assim, espécies que tenham baixa tolerância a habitats degradados se tornarão mais susceptíveis aos danos e, conseqüentemente, ameaçadas em decorrência de restrições ecológicas. Ainda, como muitos dos EPTs acumulados pelas aves não são essenciais estes podem causar sérios danos à saúde, os quais, se não contornados, podem culminar em morte, diminuição do fluxo gênico, perda da conectividade e redução de populações de espécies mais sensíveis. Ressalta-se que EPTs são transferidos das fêmeas aos ovos podendo inviabilizar o desenvolvimento ou a sobrevivência dos filhotes, o que comprometerá, em diferentes graus, as populações de aves. Deste modo, como é certo que os danos não foram cessados, sugere-se o monitoramento de longo prazo dos aspectos ecológicos destas espécies, bem como das concentrações de EPTs nesses organismos para melhor acompanhamento dos danos. Para melhor detalhamento quanto aos danos aqui resumidos consultar o TOMO I – Contextualização, item Ecotoxicologia.

2.4.7.3 Mastofauna

2.4.7.3.1 Quirópteros (*mamíferos voadores*)

Para diagnósticos dos danos causados pelo desastre nas condições de saúde e bioacumulação/biomagnificação de EPTs grupo de fauna, amostras de sangue, fezes e pelos foram obtidas de 536 espécimes capturados em áreas controle (C) e dentro da APDL (DA) dos três compartimentos do rio Doce avaliados ao longo das quatro campanhas que compuseram este diagnóstico.

Os resultados demonstraram que todos os organismos capturados nos sítios de amostragem (C ou DA) de toda a extensão avaliada apresentaram alterações nas condições de saúde e/ou nas concentrações de EPTs. Os animais capturados no ponto C apresentaram, por exemplo, ativação das respostas antioxidantes e de biotransformação, inviabilidade das amostras de sangue durante a campanha 1 para a análise do escore de dano ao DNA, aumento no percentual de MN e da metalotioneína, além do acúmulo de seis elementos (Ag, Al, As, Ce, Mn e Zn) no sangue e, sete elementos (Ag, As, Cd, Ni, Pb, Sb e Zn) nos pelos. No entanto, as alterações mais significativas nas condições de saúde, foram identificadas nos morcegos capturados nos pontos DA, os quais foram os únicos a apresentar alterações osmorregulatórias como, por exemplo, redução ou aumento da osmolalidade; alterações nas concentrações iônicas; menor disponibilidade energética, inibição das respostas dos sistemas antioxidantes e de biotransformação, além do maior número de elementos (Ag, Al, As, Ba, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se e Zn) em elevadas concentrações, tanto em comparação aos animais capturados nos pontos C quanto entre compartimentos e ao longo do tempo. É importante mencionar que esse padrão de resposta foi o mesmo independentemente dos agrupamentos realizados, ou seja, todos os morcegos, família Phyllostomidae e hábito alimentar frugívoro.

Com base dos resultados apresentados, os danos foram considerados gravíssimos, irreversíveis e com tendência a aumentar, pois, os todos os organismos capturados nos sítios de amostragem (C ou DA), de toda a extensão avaliada, apresentaram alterações nas condições de saúde e/ou nas concentrações de EPTs. Muitos dos elementos analisados foram determinados em concentrações superiores as previamente descritas para ambientes contaminados e, com potencialidade de causar problemas de saúde e declínio da população de morcegos. Essa contaminação indica comprometimento dos habitats remanescentes e desencadeia mudança na dinâmica de uso do ambiente por estes animais, o que

poderá levar à diminuição do fluxo gênico, perda da conectividade e redução de populações de espécies mais sensíveis. Não obstante, grande parte da área acometida pelo desastre encontra-se no Bioma Mata Atlântica, considerado prioritário para conservação. Ainda, esse grupo de mamíferos é apontado como o mais ameaçado do mundo devido, especialmente, baixas taxas reprodutivas (um único filhote por ano) e lentas taxas de crescimento populacional, o que, com o passar dos anos, pode comprometer as populações, comunidades e, até mesmo, todo o ecossistema. Assim, como é certo que os danos ainda não foram cessados, sugere-se o monitoramento contínuo dos aspectos ecológicos destas espécies, bem como das concentrações de EPTs nesses organismos para melhor acompanhamento dos danos. Para melhor detalhamento quanto aos danos aqui resumidos consultar o TOMO I – Contextualização, item Ecotoxicologia.

2.4.7.3.2 *Pequenos mamíferos (mamíferos terrestres de pequeno porte)*

Os danos de alteração nas condições corporais e/ou na saúde e de alteração nas concentrações de EPTs – bioacumulação e/ou biomagnificação foi avaliado neste grupo através da análise de amostras de pelos, sangue e fezes obtidas de 136 indivíduos capturados em áreas controle (C) e dentro da APDL (DA) dos três compartimentos do rio Doce avaliados ao longo das quatro campanhas que compuseram este diagnóstico.

A análise dos resultados permitiu a obtenção de informações consistentes apenas das matrizes pelo e sangue. As informações obtidas com essas matrizes demonstraram que todos os animais capturados foram, de alguma forma, afetados pela ocorrência do desastre. Os animais capturados no ponto C apresentaram maior osmolalidade e concentrações de Na^+ Cl^- , maior disponibilidade de glicose plasmática, ativação das enzimas SOD e GPx, aumento na concentração de metalotioneína, LPO e danos ao DNA, além de dez elementos (As, Ba, Cd, Ce, Cr, Cu, Fe, Hg, Sb e Sn) em maiores concentrações em hemolisado sanguíneo quando comparados aos animais capturados no ponto DA. Essas respostas, embora denotem contaminação, são condizentes a ativação dos sistemas responsáveis pela osmorregulação, pela defesa ao estresse oxidativo e, consequentemente, pela manutenção da homeostasia. Os animais capturados nos pontos DA, por sua vez, apresentaram redução na osmolalidade; alterações nas concentrações iônicas (menores concentrações de Na^+ e Cl^- e maiores concentrações de K^+ e Mg^{2+}); maior gasto energético (redução de glicose com aumento na concentração de lactato e proteína plasmática); inibição das respostas dos sistemas antioxidantes e de biotransformação, além de apresentar cinco elementos (Al, Ce, Pb, Se e Zn) em concentrações superiores nos pelos quando comparados aos animais capturados nos pontos C. As alterações manifestadas pelos animais capturados nos pontos DA indicam maior afetação dessas localidades, bem como desses animais, porque as respostas desses organismos correspondem a inibição de processos relacionados ao restabelecimento da homeostasia e, algumas dessas respostas indicam grave comprometimento renal, órgão de extrema importância para a saúde e sobrevivência.

Diante das respostas observadas os danos foram considerados graves e irreversíveis, para todos os compartimentos, uma vez que pequenos mamíferos facilmente se contaminam por diferentes vias de exposição (ar, água, alimento, etc.) o que, ao longo do tempo, causa prejuízos à saúde desses organismos, bem como acúmulo de elevadas concentrações de EPTs. Assim, como muitos EPTs são danosos aos sistemas reprodutivos essa condição pode levar a inviabilidade desse processo nesses

animais. Ainda, fêmeas, que normalmente acumulam mais EPTs, podem transferi-los aos fetos e/ou filhotes inviabilizando a sobrevivência dos mesmos e comprometendo, de forma irrecuperável, não somente esses organismos como suas populações e o equilíbrio de todo o ecossistema. Ainda, essa gravidade relaciona-se ao fato de que nenhuma espécie de hábito alimentar especialista foi encontrada nos habitats dentro da APDL e, mesmo a espécie generalista mais abundante (*D. aurita*) apresentou redução em sua população na região da Mata Atlântica de Minas Gerais. Assim, uma vez que essa espécie é endêmica da Floresta Atlântica e que esse bioma já apresenta elevado grau de ameaça ao equilíbrio ecossistêmico, devido sua área encontrar-se altamente reduzida e fragmentada, a tendência desses danos é aumentar. Reforça-se que tanto fragmentação quanto destruição e contaminação dos habitats são causas influentes da extinção de espécies em todo o mundo, especialmente por destruírem ou deslocarem populações e, conseqüentemente, levar a menor diversidade genética e do fluxo gênico. Essas condições resultam em endogamia das populações, bem como na redução da imunidade e do potencial evolutivo da população. Diante desse contexto, pequenos roedores e marsupiais podem sofrer impactos diretos para a manutenção de populações viáveis e dos processos ecológicos nas comunidades locais. Assim, como é certo que os danos ainda não foram cessados, sugere-se o monitoramento contínuo dos aspectos ecológicos destas espécies, bem como das concentrações de EPTs nesses organismos para melhor acompanhamento dos danos. Para melhor detalhamento quanto aos danos aqui resumidos consultar o TOMO I – Contextualização, item Ecotoxicologia.

2.4.7.3.3 Médios e Grandes mamíferos (*mamíferos terrestres de médio e grande porte*)

O dano de alteração nas concentrações de EPTs – bioacumulação e/ou biomagnificação foi avaliado neste grupo através da análise de amostras de fezes coletadas em áreas controle (C) e dentro da APDL (DA) dos três compartimentos do rio Doce avaliados em três (1, 2 e 4) das quatro campanhas que compuseram este diagnóstico, pois, devido a campanha 3 ter sido a de maior índice pluviométrico não foi possível encontrar material fecal.

Todos os 19 EPTs avaliados foram detectados nas amostras, independentemente do compartimento. Destes, nove elementos (Ag, Al, Ba, Cd, Cu, Hg, La, Se e Zn) foram determinados em concentrações superiores nas fezes obtidas nos pontos adjacentes a APDL (pontos DA) em comparação as obtidas nos pontos controle (C). O único elemento determinado em maior concentração nas fezes obtidas no ponto C foi o Mn e, somente em um compartimento da última campanha. Deste modo, depreende-se que mamíferos de médio e grande porte foram (a ainda estão) expostos aos EPTs disponibilizados no ambiente e, portanto, sujeitos à bioacumulação e aos efeitos destes elementos. Além disso, uma vez que a contaminação destes animais ocorre, principalmente, através da ingestão, os mamíferos que habitam e forrageiam os pontos adjacentes a APDL (DA) estão mais susceptíveis aos efeitos subsequentes que os EPTs podem causar, especialmente por serem cumulativos e persistentes. A exposição a estes elementos além de causar efeito à saúde destes animais, em conjunto com a degradação ambiental gerada pela passagem de lama, pode afetar o tamanho das populações, reduzir a variabilidade genética, prejudicar as interações interespecíficas e conseqüentemente, interferir no equilíbrio ecossistêmico. É essencial mencionar que este dano está ocorrendo no bioma Mata Atlântica, o mais ameaçado do Brasil e, que embora já seja considerado altamente vulnerável e insubstituível, vem sofrendo, seriamente,

fragmentação em sua cobertura original que somado aos danos decorrentes do desastre podem levar a perdas populacionais significativas e irrecuperáveis.

Isso posto, o dano caracterizado pela presença de EPTs nas fezes desses animais indica elevado risco de bioacumulação e/ou biomagnificação e, portanto, foi considerado grave para todos os compartimentos, uma vez que diversos estudos apontam que mamíferos de médio e grande porte que vivem em áreas contaminadas por resíduos de mineração acumulam elevadas concentrações de EPTs. Assim, como todos os mamíferos de médio e grande porte estão expostos aos EPTs disponibilizados pelo desastre e, se contaminam por diferentes vias de exposição (ar, água, alimento, etc), a médio e longo prazo estes podem manifestar alterações de saúde que podem comprometer, de forma irrecuperável, todo o equilíbrio ecossistêmico. Reforça-se que mamíferos são organismos de topo de cadeia trófica, cujas concentrações de EPTs refletirão a ocorrência do processo de biomagnificação. Ainda, diante do fato de que EPTs apresentam elevada potencialidade tóxica e persistência, os danos descritos foram considerados irreversíveis e com tendência a aumentar visto que, somado a com a contaminação, estes animais que são naturalmente encontrados em baixa densidade nos ecossistemas e globalmente considerados como vulneráveis aos efeitos da contaminação e degradação de habitats, terão que lidar com essas condições em conjunto, as quais poderão levar estes animais à morte e, conseqüentemente, declínio populacional e até mesmo perda de biodiversidade. Assim, como é certo que os danos ainda não foram cessados, sugere-se o monitoramento contínuo dos aspectos ecológicos destas espécies, bem como das concentrações de EPTs nesses organismos para melhor acompanhamento dos danos. Para melhor detalhamento quanto aos danos aqui resumidos consultar o TOMO I – Contextualização, item Ecotoxicologia.

2.4.8 CONCLUSÕES

Ao final do segundo ciclo de amostragens da fauna silvestre, cujos resultados foram contrastados e complementados ao longo deste documento, a síntese deste esforço segue as interpretações apresentadas no diagnóstico anterior (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d). A maior parte dos indicadores acompanhados mantiveram-se nos mesmos padrões, com pequenas variações em algumas das métricas, mas que não justificam novos entendimentos sobre os danos. Os estudos complementares conduzidos nesta etapa, as modelagens de dados, resultaram em informações relevantes no âmbito do planejamento de ações futuras na região. Encontraram-se diversos indícios que apontam para a baixa efetividade – para a biodiversidade como um todo – das ações previstas de restauração florestal pela Fundação Renova.

Além deste aspecto de avaliação dos danos, foram desenvolvidas novas abordagens e previsões de cenários futuros a partir de diversas fontes de dados. Estes modelos podem ser especialmente úteis no âmbito da governança, permitindo elencar ações ou localidades prioritárias para mitigação, reversão e/ou compensação dos danos à biodiversidade terrestre. Além disso, também enriquecem discussões sobre as atividades a serem executadas na região quanto ao monitoramento de indicadores propícios, a partir de diferentes elementos representativos da biota como um todo, e que respondam ao manejo em diversas escalas espaciais e temporais.

Reforça-se o entendimento dos mecanismos presumivelmente responsáveis pelas alterações verificadas na fauna: i) a alteração de hábitat devido à supressão da vegetação florestal e do solo, a qual reduziu as áreas disponíveis à fauna e modificou as condições ecológicas da paisagem; ii) a colonização dos ambientes danificados por outras espécies da fauna, dando origem a assembleias dominadas por táxons generalistas que conseguem se adaptar à limitação dos recursos ambientais ali disponíveis. Neste fenômeno se inclui a substituição de espécies nativas por espécies exóticas, não somente alterando a composição faunística da região, mas potencializando o dano ao dificultar a restauração da fauna original; iii) espécies florestais e/ou arborícolas, muitas das quais endêmicas e/ou ameaçadas de extinção, perderam habitats anteriormente disponíveis. Além disso, os ambientes às margens dos rios danificados passam a atuar como barreiras ao deslocamento desses táxons, gerando ainda o isolamento de populações, outro fator que se agrega ao dano e diminui a capacidade de restauração da fauna; iv) o decréscimo da qualidade dos habitats ribeirinhos e aquáticos é ainda acompanhada pelo potencial de contaminação, tendo sido mais intenso imediatamente após o desastre. Estes danos são de difícil detecção por métricas ecológicas, mas outros indicadores – como das condições físicas e da saúde dos animais – podem ser úteis na identificação.

2.4.9 CENÁRIO DE DANOS

Para a fauna silvestre, os danos identificados e que não foram considerados cessados são relacionados aos efeitos da perda de qualidade ambiental sobre os animais, por sua vez são advindos dos efeitos físicos da passagem da onda de lama, bem como dos efeitos químicos (contaminação por EPTs) trazidos com a mesma. Esses efeitos desencadearam sobre a fauna piora nas condições físicas, comprometimento à saúde e bioacumulação de EPTs. Métricas ecológicas, embora tenham permitido a identificação e mesmo quantificação dos danos, não se interpretam como danos em andamento, mas são o reflexo de danos temporalmente já cessados.

Os efeitos físicos do desastre desencadearam uma série de alterações nas paisagens dos locais acometidos. Alterações no hábitat, como por exemplo a fragmentação, interrompem os padrões de deslocamento e alteração da ocupação dos ambientes, ao diminuírem a disponibilidade de recursos alimentares, de locais para reprodução, descanso e proteção. Consequentemente, levam a modificações no comportamento e na aptidão dos organismos (FRITSCH et al., 2010; POWELL, 2017; GREEFF, 2018; BAIG, 2019). Diante dessas condições, os animais passam a ajustar suas áreas de vida, ou buscam novas áreas para habitar e, portanto, tornam-se sujeitas a novas pressões de competição. Como resultado, muitos organismos morrem precocemente e as espécies reduzem seu potencial reprodutivo, gerando comunidades mais homogêneas na paisagem (ARDENTE et al., 2016; POWELL, 2017; GREEFF, 2018). Ainda, modificações no hábitat são reconhecidos fatores de redução da diversidade genética das populações, podendo resultar em endogamia, redução da imunidade e, no longo prazo, do potencial adaptativo.

Os efeitos químicos dos contaminantes, trazidos ou remobilizados pelo desastre, tendem a ter seus efeitos exacerbados ao longo do tempo, uma vez que é razoável presumir que ao longo da vida desses animais o consumo e a incorporação de EPTs nos organismos será mantida. Essa exposição levará a perturbações, modificações ou destruição de respostas individuais (por exemplo, diminuição de

expectativa de vida, maior vulnerabilidade a predadores e/ou disfunções na reprodução) ou de interações entre os organismos (como alterações na dinâmica populacional) tornando, assim, determinados ambientes menos adequados para a vida selvagem. É importante mencionar que muitos dos EPTs presentes na área de estudo são acumulados pelas fêmeas e transferidos à prole durante a gestação e/ou lactação. Não obstante, alguns dos grupos de fauna avaliados possuem baixas taxas reprodutivas e lentas taxas de crescimento populacional, o que implica que quaisquer respostas a estes danos serão refletidas nessas espécies ao longo de várias gerações.

É importante mencionar que tanto a fragmentação dos habitats, quanto a contaminação gerada pelo desastre podem levar de décadas a milênios para se recuperar. Estudos apontam que a contaminação gerada por atividades de mineração não apresenta significativa redução mesmo após medidas de restauração ambiental ou após anos da inativação de minas de exploração mineral (SÁNCHEZ-CHARDI et al. 2007b; SÁNCHEZ-CHARDI et al. 2008; SÁNCHEZ-CHARDI; OLIVEIRA RIBEIRO; NADAL, 2009; GREEFF, 2018). Não obstante, grande parte da área acometida pelo desastre encontra-se na Mata Atlântica, domínio considerado prioritário para conservação por ter sido sujeito a profundas reduções de sua cobertura original, onde várias espécies dos diferentes grupos avaliados apresentam elevado grau de ameaça de extinção.

Assim, considerando o cenário que estima a retirada de todo o rejeito no ambiente físico entre 113 a 163 anos (Item 2.3 do Tomo II – Ambiente Aquático Continental do Acompanhamento de Danos) é razoável presumir que enquanto houver a influência do rejeito sobre os ecossistemas terrestre, os danos relativos aos contaminantes continuarão a exercer efeitos prejudiciais à fauna silvestre.

2.5 DANOS EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO E OUTRAS ÁREAS NATURAIS PROTEGIDAS

Este capítulo visa apresentar a integração dos danos diagnosticados pelas demais áreas temáticas deste estudo nas Unidades de Conservação (UC's) e outras Áreas Naturais Protegidas (ANP) e também nas suas proximidades localizadas no ambiente terrestre.

As Unidades de Conservação foram instituídas através da Lei nº 9985/2000 (BRASIL, 2000), conhecida como SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação, mesmo que a criação do primeiro parque nacional brasileiro (Parque Nacional do Itatiaia - PNI) seja de 1937. A definição de Unidade de Conservação segundo a normativa é *“espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção”*. Com esta perspectiva cada UC possui um limite e um objetivo.

Além de integrar e atualizar as informações técnicas obtidas durante o diagnóstico e monitoramento dos danos, pretende-se avaliar se os mesmos são conflitantes aos objetivos de conservação das Áreas Naturais Protegidas afetadas pela passagem e deposição da lama de rejeitos oriundos do desastre.

Desta forma, este é um capítulo elaborado em fase posterior ao relatório de diagnóstico de danos para as UCs e outras ANPs (BRASIL (MPF)/LACTEC 2020d) e pode ser compreendido como um

relatório complementar, especialmente nas análises atualizadas sobre as áreas afetadas pela passagem e deposição da lama nas UCs e ANPs. De modo a rememorar os danos diagnosticados neste estudo citado, foi avaliada a extensão e a área em hectare afetada dentro das UCs e ANPs pela onda de lama. Neste estudo também foram consideradas as Zonas de Amortecimento (ZAs), quando aplicável, e as Reservas da Biosfera (RBs). Assim sendo, foi levantado que houve mais de 286 km em extensão linear e 2.480 ha de área afetados pelo desastre, sem considerar as ZAs e RBs.

O dano em sua maioria foi classificado como gravíssimo, tendência a estar estabilizado e sendo parcialmente reversível no diagnóstico de danos. O termo estabilizado, no entanto, foi revisto pela equipe durante as discussões para esse relatório. A influência do desastre sobre as UCs e ANPs está diretamente atrelada ao evento temporal da passagem da onda de lama ao longo da extensão e área (ha) das unidades protegidas. Nesse sentido, é razoável presumir que o dano ocorrido nas UCs e ANPs possa ser considerado um dano cessado, embora seus efeitos ainda não tenham sido totalmente revertidos, uma vez que o rejeito remanescente na calha do rio Doce ainda influencia os corpos d'água que estão inseridos nas unidades, bem como suas margens, que futuramente podem sofrer deposições do rejeito em virtude da dinâmica de extravasamento do rio.

De fato, em virtude da cheia ocorrida no ano de 2016, foi realizada uma atualização da APDL, que seguiu o método apresentado no relatório do diagnóstico dos danos elaborado pelo Lactec (BRASIL (MPF)/LACTEC 2020d). Desta forma, houve também a necessidade de uma atualização da área atingida (em hectares) em cada uma das UCs (Tabela 28). Esta atualização ocorreu principalmente entre a UHE Risoleta Neves (Candonga) e a foz do rio Doce.

Tabela 28 – Área, em hectares, da APDL atualizada em áreas protegidas.

Nome da Unidade	Área anterior (hectares)	Área atualizada (hectares)
Parque Estadual do Rio Doce	153,22	304,02
APA Municipal Belo Oriente	3,60	4,04
APA Municipal Bom Jesus do Galho	265,31	376,73
APA Municipal Córrego Novo	264,43	334,40
APA Municipal Dionísio	100,97	225,49
APA Municipal Lagoa Silvana	0,12	15,50
APA Municipal Pingo D'Água	29,44	53,47
APA Municipal Santana do Paraíso	285,62	362,10
APE Estadual Pico do Ibituruna	12,17	69,99
Floresta Nacional de Goytacazes	-	58,00
PN Municipal de Governador Valadares - MG	0,12	5,78
Área de Proteção Especial Ouro Preto/Mariana	1322,34	1322,34
APA Municipal Barra Longa	52,18	52,18
Terra Indígena Krenak	0,01	0,01
RPPN Fazenda Macedônia	1,42	1,42
TOTAL	2490,95	3185,47

Houve um incremento significativo da área afetada (694,52 hectares), o que corresponde a um aumento de 27,8% em comparação à quantificação apresentada em Brasil (MPF)/LACTEC (2020d), e também a inclusão da unidade de conservação Floresta Nacional de Goytacazes.

2.5.1 ACOMPANHAMENTO DOS DANOS À ÁREA DE PROTEÇÃO ESPECIAL OURO PRETO / MARIANA

2.5.1.1 Introdução

A barragem de Fundão encontra-se no interior da Área de Proteção Especial Ouro Preto/Mariana, desta forma, esta foi a unidade com a maior quantidade de danos diagnosticados em seu território e portanto será abordada de forma separada às demais áreas naturais protegidas. A Área de Proteção Especial de Ouro Preto e Mariana tem como objetivo a preservação do patrimônio cultural, histórico e paisagístico. No compartimento 1, estão localizadas esta UC e também a APA municipal de Barra Longa. Neste capítulo será abordado os danos ambientais que foram diagnosticados para este compartimento citado acima.

2.5.1.2 Monitoramento dos danos à paisagem

Considera-se como consequência deste desastre a perda irreversível de patrimônio natural, ecológico e paisagístico, bem como a interrupção de atividades socioeconômicas espacialmente desenvolvidas neste território, sendo os danos à paisagem local remetidos principalmente às percepções humanas, individuais e coletivas.

É importante destacar que existem muitas definições para o conceito de paisagem e embora existam muitos enfoques, alguns elementos comuns permitem definir um método para seu estudo. Na geografia moderna, considera-se que a paisagem pode ser entendida como o produto das interações entre elementos de origem natural e humana, em um determinado espaço. Estes elementos de paisagem organizam-se de maneira dinâmica, ao longo do tempo e do espaço (MAXIMIANO, 2002). Não obstante, há um consenso entre as áreas da geociência de que a paisagem, embora tenha sido estudada sob ênfases diferenciadas, resulta da relação dinâmica de elementos físicos, biológicos e antrópicos.

Nesta análise, a descrição de dano sobre a paisagem é relacionada principalmente aqueles ocorridos ao meio físico, mais especificamente àqueles correlacionados as alterações superficiais e suas relações com a paisagem. Os aspectos específicos, relacionados às alterações químicas, biológicas que envolvem os danos ocorridos na flora, na fauna, nos solos e nas águas, entre outros, dado o caráter multidisciplinar deste estudo, são tratados nos diferentes capítulos do diagnóstico de danos (BRASIL (MPF)/LACTEC 2020d).

Os danos físicos correspondem sobretudo a área atingida pela passagem e deposição da lama, ou APDL, que conforme descrito no TOMO I Contextualização (BRASIL (MPF)/LACTEC 2020b), corresponde a área onde houve erosão e posterior deposição em decorrência da passagem do fluxo de lama.

Nestas áreas, além da perda de biodiversidade ou mesmo de ecossistemas, houve a alteração física na paisagem, caracterizada por feições erosivas profundas e pela remoção de vegetação, solos e eventualmente rochas. Estas alterações afetaram também o patrimônio espeleológico e arqueológico, e os processos minerários em atividade ao longo do rio e das margens.

A qualidade das águas superficiais ficaram comprometidas devido à elevada turbidez ocasionada pela passagem da lama. Em muitas áreas, principalmente nas planícies aluvionares, houve deposição de material sobre o solo e sobre a vegetação natural, formando novas camadas, constituídas pela

mistura dos materiais transportados e principalmente pelos resíduos associados ao rejeito, formando um solo antrópico denominado de Tecnossolo.

Cabe mencionar novamente os danos socioeconômicos, cujas alterações na paisagem são muito mais drásticas e marcantes, dado que em alguns locais a lama invadiu as cidades, destruiu ruas, residências, escolas e praças. As pessoas, os animais e a natureza como um todo foram diretamente e irreversivelmente afetadas.

Uma parcela destes materiais depositados sobre canais de drenagens, estradas, pastagens, ruas e outros, foram gradativamente sendo removidos nos meses que se sucederam ao desastre. Dentre estes materiais, destaca-se sobretudo o próprio rejeito, mas também quantidades significativas de vegetação, galhos e troncos que foram arrancados e posteriormente depositados. A remoção e a disposição destes resíduos, muitas vezes em áreas não apropriadas, resultaram em novos danos, que afetaram a qualidade do ar (poluição atmosférica), eventualmente da água e novamente da paisagem, já que formaram pilhas de materiais que antes não existiam ali.

Destaca-se que o dano à paisagem foi muito mais acentuado no Compartimento 1, que engloba também os afluentes Gualaxo do Norte e Carmo. Ao longo desses rios, houve intensa remoção e deposição de rejeitos, já que em vários locais o fluxo de lama extravasou a calha.

2.5.1.3 Monitoramento dos danos às cavidades naturais

Com o intuito de avaliar o dano no patrimônio espeleológico, foram avaliadas 15 feições subterrâneas (cavidades/abrigos) presentes na APDL, nas proximidades da barragem de Santarém, e 5 cavidades registradas pelo Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE) (CECAV, 2017), localizadas ao longo do rio Doce.

Destas 15 feições subterrâneas vistoriadas no entorno da Barragem de Santarém, nove delas foram, total ou parcialmente, afetadas pela lama de rejeitos. Consideram-se parcialmente afetadas aquelas em que o fluxo apenas passou ou permaneceu por poucos dias após o desastre. Ao contrário, àquelas que permaneceram alagadas, foram consideradas como totalmente afetadas.

2.5.1.4 Monitoramento dos danos ao solo

No que tange os aspectos relacionados aos danos em solos, foi verificado que houve alteração da sua composição química. Em relação à composição, houve a substituição da matriz predominantemente caulínica dos solos de várzea que existiam anteriormente ao desastre pela matriz predominantemente hematítica do rejeito. Outro problema observado é que o rejeito depositado possui menor teor de matéria orgânica em relação aos solos naturais da região (teor quase nulo), o que impacta diretamente nas propriedades físicas, químicas e biológicas desse novo material.

Em relação às alterações químicas causadas pela deposição do rejeito sobre o solo, foi observado aumento do pH e dos teores de fósforo (P), diminuição dos teores de bases trocáveis e da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo, predomínio de capacidade de troca de ânions (CTA) em relação à CTC, maiores teores de manganês (Mn) trocável e identificação de enriquecimento do substrato e das plantas que se desenvolvem nele em ferro (Fe).

Do ponto de vista geotécnico, foram identificados danos referentes à alteração da permeabilidade e do fluxo de água, alteração da estabilidade de encostas e aumento dos processos erosivos em decorrência do desastre. Em relação ao dano referente à alteração da permeabilidade e fluxo de água, por conta da deposição de partículas de rejeito (que são majoritariamente silte e areia) sobre o solo natural, o coeficiente de permeabilidade apresentou maiores valores quando comparados aos de linha base para solo natural. Com esse aumento, há alteração direta na velocidade de escoamento superficial e subsuperficial, acarretando no aumento da taxa de infiltração de água no solo e, com isso, ocasionando a alteração da estabilidade de encostas.

O rejeito depositado sobre o solo natural possui elevada erodibilidade e a erosão pode causar perda da camada fértil do solo e sua posterior degradação, resultando no potencial de assoreamento de rios e lagos e no potencial de contaminação de águas superficiais.

O resultado final e convergente de todos os danos ao solo no compartimento 1, causados pela deposição dos rejeitos da barragem de Fundão, foi a formação de uma nova camada de material que possui uma profundidade mediana de 1 metro, e que soterrou os solos naturais da região (como os Neossolos e Cambissolos Flúvicos, Gleissolos, etc.), formando um solo antropogênico chamado de Tecnossolo. Em se considerando que essa matriz permanecerá no ambiente, é razoável afirmar que a função ecológica que os solos aluvionares anteriores ao desastre proviam foram alterados, e que o novo Tecnossolo formado possui maior fragilidade ambiental, especialmente em relação às suas características físicas.

2.5.1.5 Monitoramento dos danos à flora

A passagem da onda de lama foi responsável pela supressão de aproximadamente 860 hectares de vegetação nativa, principalmente no Compartimento 1. A passagem do rejeito trouxe diversas implicações, como a fragmentação dos ambientes, o aumento do efeito de borda e a remoção do banco de sementes do solo trazendo consequências nocivas para a flora, como a dificuldade de dispersão de sementes e redução da resiliência da floresta. Os levantamentos florísticos e fitossociológicos apontaram a presença de 170 espécies de árvores, 128 de trepadeiras, 28 de epífitas, 214 herbáceas florestais, 272 de vegetação secundária inicial e 74 de várzeas. Estas espécies estão presentes majoritariamente na Floresta Estacional Semidecidual, fitofisionomia predominante nesta área natural protegida.

Entretanto, destaca-se ainda a presença dos campos rupestres, formação com grande presença de endemismo, e na qual foram identificadas 209 espécies. Os estudos ainda indicaram a presença de 121 espécies de plantas reófitas e 193 espécies de macrófitas nos ambientes aquáticos. Um outro dado importante a ser observado, é que de todos estes quantitativos de espécies, 14 encontram-se ameaçadas de extinção, 12 são endêmicas e 29 são protegidas e possuem seu comércio regulamentado com o objetivo de conservar suas populações.

2.5.1.6 Monitoramento dos danos à fauna

Foram identificadas alterações nas populações e assembleias faunísticas, perda de conectividade na paisagem e de qualidade dos habitats remanescentes, além da piora nas condições físicas da fauna, comprometimento à sua saúde e aumento na bioacumulação de elementos potencialmente

tóxicos (EPTs). Estes danos foram diagnosticados para os grupos da entomofauna, herpetofauna, avifauna, quiropteroфаuna e mastofauna de pequeno e grande porte.

Para a entomofauna foi possível comprovar efeito positivo da distância ao rio em relação à abundância de insetos, em especial das espécies florestais, sugerindo declínios populacionais nas localidades mais próximas aos corpos de água danificados. Observa-se também aumento da riqueza quanto maior a distância em relação ao rio para os *Scarabaeinae* generalistas e *Formicidae* que nidificam no solo. No caso da herpetofauna, especificamente os anfíbios, detectaram-se assembleias distintas entre APDL e áreas controle. Há pequena representatividade de indivíduos fossoriais nos sítios mais próximos ao rio Gualaxo do Norte, sendo que anfíbios florestais de notável relevância ecológica foram encontrados apenas em sítios Controle. Muitos dos anfíbios colonizadores que ocupam a APDL não ocorrem nos sítios Controle, ao tempo em que espécies florestais mais sensíveis são raras ou ausentes em áreas próximas ao rio Gualaxo do Norte.

A mastofauna de grande porte na APE Ouro Preto/Mariana foi detectada com maior número de registros de capivaras (*Hydrochaerus hydrochaeris*) nos sítios afetados pela passagem da lama; padrão oposto foi verificado para a paca (*Cuniculus paca*), ambos indicativos de danos na APE Ouro Preto/Mariana em decorrência das alterações na paisagem causadas pelo desastre. Além disso, identificou-se presença marcante de mamíferos exóticos (bovinos, bubalinos, equinos e cães domésticos) na APDL dessa mesma ANP.

2.5.1.7 Conclusão

A integração dos resultados obtidos pelas demais áreas temáticas nesta ANP mostrou que foram severos os danos diagnosticados pelo desastre. Se analisarmos que esta categoria de área natural protegida possui como objetivo de criação a preservação do patrimônio cultural, histórico e paisagístico, além de intrinsecamente garantir para a sociedade a salvaguarda dos ecossistemas naturais que estão associados a estes patrimônios, como as espécies da fauna e flora, os danos afetaram também os objetivos de criação destas áreas.

No ponto de vista biológico, foi comprovado que houve alterações nas populações e comunidades faunísticas. Com a passagem da onda de lama nesta área protegida houve um desmatamento de grandes proporções que ocasionou na perda de conectividade na paisagem e de qualidade dos habitats remanescentes. Esta área protegida era responsável pela união de diversos fragmentos florestais e de vegetação nativa na região e com a onda de lama, houve também o isolamento de determinadas porções de vegetação nativa, dificultando o deslocamento entre estas áreas para determinadas espécies da fauna e também impôs um isolamento para outras espécies com menor vagilidade, o que de modo geral, interfere no fluxo gênico e agrava as condições de vida e permanência destas espécies de animais na região afetada pelo desastre. Além destes danos, houve também aumento na bioacumulação de elementos potencialmente tóxicos, que poderão causar efeitos deletérios em longo prazo para determinadas espécies.

Toda esta situação danosa aos patrimônios naturais e culturais que foram diagnosticados neste estudo se agrava quando analisados que esta área protegida faz parte também da Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço e da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. Estas áreas de reconhecimento

internacional são consideradas como modelos integradores que favorecem a conectividade da paisagem e como foi observado nos resultados deste estudo, houve perda de conectividade de ambientes naturais, havendo conflito também com os objetivos de criação desta categoria de área natural protegida.

2.5.2 ACOMPANHAMENTO DOS DANOS EM UCS E OUTRAS ÁREAS NATURAIS PROTEGIDAS DOS COMPARTIMENTOS 2, 3 E 4

2.5.2.1 Introdução

Ao longo dos compartimentos 2 e 3 existem diversas áreas protegidas atingidas pelo desastre, entre elas: APA Municipal Córrego Novo, APA Municipal Dionísio, APA Municipal Pingo D'Água, Parque Estadual do Rio Doce, APA Municipal Bom Jesus do Galho, APA Municipal Lagoa Silvana, APA Municipal Santana do Paraíso, RPPN Fazenda Macedônia, APA Municipal Belo Oriente, PN Municipal de Governador Valadares, APE Estadual Pico do Ibituruna, Parque Estadual de Sete Salões, RPPN Fazenda Bulcão e Floresta Nacional de Goytacazes.

Estas áreas naturais juntas protegem remanescentes florestais e outras tipologias vegetacionais da Mata Atlântica e do Cerrado próximos as margens do rio Doce e são responsáveis pela proteção de mananciais e importantes patrimônios naturais, culturais e paisagísticos na região de estudo.

2.5.2.2 Monitoramento dos danos à paisagem

Nos Compartimentos 2 e 3, embora menos expressivos, os danos à paisagem foram igualmente notados, conforme descritos no item 2.5.1.2. Houve significativa alteração na água e expressiva mortalidade de peixes. Em muitas áreas de planícies e nas ilhas fluviais, houve deposição dos rejeitos, afetando afluentes e lagoas.

2.5.2.3 Monitoramento dos danos ao solo

A avaliação em detalhe do restante da bacia, com verificação de danos ao solo nos compartimentos 2, 3 e 4, está contida no capítulo específico que trata deste assunto no presente relatório de acompanhamento de danos.

Com especial enfoque em áreas protegidas, foi realizada uma verificação *in loco*, com amostragem de solo e sedimento de corrente, em dois pontos do Parque Estadual do Rio Doce (PERD) e em uma localidade na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Fazenda Macedônia. Essas amostras indicaram ter havido ao menos contato dos solos e sedimentos do PERD e RPPN Fazenda Macedônia com o rejeito de mineração de ferro, de acordo com as características físico-químicas avaliadas nas amostras em comparação à composição típica dos rejeitos barrado e depositado entre Fundão e a UHE Risoleta Neves.

No entanto, devido à variabilidade das amostras e ao tempo ocorrido entre o desastre e a vistoria dessas áreas, não é possível afirmar ou descartar os impactos da deposição do rejeito nos solos especificamente nas áreas do PERD e RPPN Fazenda Macedônia, em função do grau de misturas entre

os substratos e a influência da própria contribuição de aportes históricos de rejeito da bacia. Para maiores informações a respeito destas análises, vide Apêndice H e Anexo N.

Além disto, também foram analisadas amostras de solo de áreas agrícolas (pastagens) nas planícies aluvionares em demais regiões dos compartimentos 2, 3 e 4, pelas quais foi possível identificar contaminação do solo por As (Arsênio) e Mn (Manganês) em comparação aos solos anteriores à linha base, bem como detecção de Fe (Ferro) e Mn em níveis elevados nas plantas cultivadas sobre o solo afetado. Dessa maneira, esse dano foi classificado como grave, irreversível e com tendência de aumentar no decorrer do tempo, uma vez que os solos de várzea das regiões à jusante da UHE Risoleta Neves podem sofrer novas deposições do material que permanece na calha do rio a medida que a dinâmica do rio Doce permita que novos extravasamentos ocorram em eventos futuros de cheia. Dessa maneira, é razoável considerar que demais áreas de solos aluvionares presentes na APDL, mesmo em usos distintos ao considerado para avaliar o dano, possam estar sujeitos aos mesmos impactos, uma vez que os extravasamentos e deposições de materiais na porção extracalha ocorre de maneira similar em toda bacia.

Ainda, ressalta-se a necessidade de monitoramento dos solos de várzea especificamente alocados dentro de UCs a ANPs da bacia do rio Doce, considerando-se a fragilidade desses ecossistemas, especialmente com relação à importância do PERD como a maior Unidade de Conservação de Proteção Integral da bacia hidrográfica do rio Doce.

2.5.2.4 Monitoramento dos danos à flora

Embora não tenha sido verificado supressão de vegetação nativa nos compartimentos 2 e 3 devido à passagem da lama, é válido salientar que estes trechos abrigam importantes ambientes com elementos exclusivos da flora local, com destaque para a APE Estadual Pico do Ibituruna, RPPN da Fazenda Macedônia e também o maior remanescente de Mata Atlântica do estado de Minas Gerais, o Parque Estadual do Rio Doce no compartimento 2.

No compartimento 3 destaca-se a Flona de Goytacazes, onde sobressai-se a característica vegetação de restinga. O fato destas UC's estarem tão próximas ao rio e serem tão importantes para a flora e fauna inspira a preocupação de manter um monitoramento contínuo da vegetação nestes locais, a fim de certificar-se de que de fato não haja danos crônicos decorrentes do desastre.

2.5.2.5 Monitoramento dos danos à fauna

Com relação aos danos à fauna silvestre que podem ser integrados às UCs e outras ANPs ao longo da APDL – foram identificadas alterações nas populações e assembleias faunísticas, perda na qualidade dos habitats, além da piora nas condições físicas da fauna, comprometimento à sua saúde e aumento na bioacumulação de EPTs.

Os danos foram diagnosticados para os grupos da entomofauna, herpetofauna, avifauna, quiropterofauna e mastofauna de pequeno e grande portes.

Para a avifauna detectou-se maior abundância de aves florestais nos pontos controle, distantes da APDL. Ao mesmo tempo, espécies generalistas mostraram-se mais abundantes nos locais afetados pela lama. Esse padrão não é claro nas demais UCs contempladas no desenho amostral do diagnóstico

(PE do Rio Doce e FloNa de Goytacazes). Nas demais UCs encontram-se assembleias mais complexas e bem estruturadas nos sítios controle, o que pode estar associado ao empobrecimento da qualidade de recursos disponíveis nas margens do rio Doce.

Para os pequenos mamíferos não voadores, o diagnóstico resultou em riqueza e abundância maiores nos pontos controle em comparação à APDL. Sugere-se a ocorrência de declínios da qualidade ambiental em decorrência do desastre, gerando perdas de riqueza e abundância de roedores e marsupiais nas áreas mais próximas as margens do rio Dce.

Com relação a fauna de morcegos, espécies frugívoras tipicamente abundantes em habitats degradados, estes apresentaram maior abundância nos pontos mais próximos aos cursos d'água afetados pela passagem da lama. No PE do Rio Doce e RPPN Macedônia detectou-se maior abundância de *Glossophaga soricina*, importante polinizador de plantas Neotropicais, muito embora foram registrados nos pontos controle, não afetados pela passagem da lama. O dano detectado nos morcegos na região do PERD e RPPN Macedônia foi o indicativo de piores condições físicas dos animais capturados próximos ao rio Doce, em relação aos pontos controle. Este dano foi avaliado a partir da prevalência de ectoparasitas nos espécimes capturados e deve ser interpretado como uma tendência, necessitando de maior volume de capturas para reavaliação.

2.5.2.6 Conclusão

Com a atualização da APDL foi verificado o aumento da área, em hectares, atingida dentro das Unidades de Conservação e outras Áreas Naturais Protegidas. A passagem e a presença do rejeito nessas unidades acarretaram na mudança das características do solo e consequentemente na vegetação e na fauna. Todos os danos provocados pelo desastre estão em conflito com os objetivos de criação das Unidades de Conservação atingidas.

Dentre todas as UCs afetadas nos compartimentos avaliados, cabe um destaque especial para a importância e representatividade do Parque Estadual do Rio Doce (PERD) na bacia hidrográfica do rio Doce. Esta UC foi afetada em ao menos 300 hectares com base no novo cálculo da área de passagem e deposição da lama. Embora não tenha sido evidenciado dano em solos, sugere-se que seja realizado o monitoramento de determinadas áreas, especialmente as áreas que possuem vegetação pioneira de influência fluvial como os brejos e seus solos. Estas áreas possuem características singulares para determinadas espécies da fauna, assim como para a ictiofauna, que as utilizam como berçário e abrigo para reprodução. Ademais, este é um ecossistema com alta fragilidade ambiental.

O PERD é a UC mais antiga do estado de Minas Gerais, além de ser a UC de proteção integral que salvaguarda o maior remanescente de Floresta Atlântica mineira. É reconhecido como um Sítio RAMSAR, ou seja, uma zona úmida de importância internacional. Os ecossistemas lacustres que existem na região do PERD só perdem em extensão para o Pantanal e Amazônia no Brasil. Os Sítios RAMSAR visam promover a conservação e o uso racional das zonas úmidas no mundo, de acordo com sua importância ecológica. Além disto, é uma zona núcleo da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. Devido a todas estas características, houve conflito também com os objetivos destes reconhecimentos internacionais, aumentando o agravamento dos danos a esta UC.

2.5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os danos diagnosticados decorrentes do desastre do rompimento de Fundão para os componentes físicos, químicos e biológicos apresentados neste relatório, evidenciam os diferentes tipos de alterações provocados no ambiente terrestre existente nas Unidades de Conservação e outras Áreas Naturais Protegidas avaliadas neste estudo.

Tendo em vista que o desastre ocorreu na região das cabeceiras dos rios formadores do rio Doce, onde estão presentes a APE Ouro Preto/Mariana e a APA Municipal de Barra Longa e também parcela das Reservas da Biosfera da Serra do Espinhaço e da Mata Atlântica, é evidente que estas seriam as áreas que apresentariam mais resultados sobre a comprovação das alterações provocadas pela passagem e deposição da lama de rejeito oriunda da barragem de Fundão.

Com destaque para a APE Ouro Preto/Mariana, nesta ANP foi identificada que nove feições subterrâneas foram afetadas pela lama de rejeitos. Houve alteração da composição mineralógica da fase sólida do solo, considerado como sendo um dano gravíssimo, permanente e irreversível. Do ponto de vista geotécnico, foi constatada alteração da permeabilidade e do fluxo de água, alteração da estabilidade de encostas e aumento dos processos erosivos em decorrência do desastre. Foi a ANP que teve maior perda de área e consequente danos a flora e fauna. Os modelos de distribuição de espécies indicam perdas de conectividade e perdas de qualidade dos habitats na APE, decorrentes das alterações na paisagem florestal da região. Ademais, foram identificadas alterações nas populações e assembleias faunísticas e aumento na bioacumulação de EPTs.

Nas Unidades de Conservação e outras Áreas Naturais Protegidas existentes após a barragem da UHE Risoleta Neves, embora menos expressivos, os danos à paisagem foram igualmente notados. Houve significativa alteração na água e expressiva mortalidade de peixes. Em muitas áreas de planícies e nas ilhas fluviais, houve deposição dos rejeitos, afetando afluentes e lagoas. Na região do Parque Estadual do rio Doce e da RPPN Fazenda Macedônia, na parte de fauna, especialmente de morcegos, foi comprovado que os animais capturados estavam em piores condições físicas nos pontos mais próximos ao rio Doce, em relação aos pontos controle. A comprovação se deu através da presença de ectoparasitas nos espécimes capturados.

Portanto, os danos diagnosticados para os componentes abióticos e bióticos aqui descritos demonstram o grau de severidade do desastre para as UCs e outras ANPs existentes no ambiente terrestre, gerando também conflito entre os objetivos de criação destas áreas, aumentando seu agravamento.

2.5.4 CENÁRIO DE DANOS

O dano para Área de Proteção Especial Ouro Preto / Mariana e também para a APA Municipal de Barra Longa e parte das Reservas da Biosfera da Serra do Espinhaço e da Mata Atlântica, as quais estão inseridas no compartimento 1, foi classificado como sendo de tendência a evoluir no diagnóstico de danos.

Esta tendência se deve especialmente pela permanência da lama de rejeito em todo o trecho compreendido da Barragem de Fundão a Barragem da UHE Risoleta Neves. A lama oriunda do desastre, como comprovado neste estudo, possui elementos potencialmente tóxicos que estarão sendo disponibilizados para toda a cadeia trófica por um período de tempo entre 113 e 163 anos até que

seja completamente carregado para o mar. Este quantitativo temporal é resultado de um estudo de modelagem hidrológica desenvolvido pelo Lactec e que pode ser verificado com maior detalhe no Item 2.3 do Tomo II – Ambiente Aquático Continental do Acompanhamento de Danos.

Durante este período de tempo, estima-se que os efeitos nos componentes bióticos e abióticos dos ecossistemas afetados nestas áreas naturais protegidas poderão evoluir, e somente após este longo período, o dano pode ser considerado definitivamente cessado. Além disto, a permanência da lama de rejeito depositado nas margens destas áreas naturais protegidas durante todo este período continuará afetando o objetivo de criação destas áreas.

Quanto a disponibilização de elementos potencialmente tóxicos à fauna, isto poderá ocasionar num aumento de problemas de saúde dos animais, afetando desde sua reprodução e também sua fisiologia ao longo das gerações, oriundos de um processo de longo prazo de bioacumulação destes elementos nos organismos. Devido a estas características, não há possibilidade de recuperação da saúde das espécies nativas de animais afetados no interior destas áreas naturais protegidas. Assim sendo, o desastre impõe novas condições para a sobrevivência de toda a biodiversidade existente nos habitats afetados nestas áreas protegidas, os quais, poderão ser colonizados por espécies de hábitos tolerantes a estas condições do período pós-desastre, a depender das suas capacidades de resiliência.

Se analisado de forma isolada o dano da permanência da lama de rejeito nas margens destas áreas naturais protegidas, esta tendência poderia cessar se fosse realizada a retirada do rejeito destes locais. No entanto, esta é uma discussão que merece um aprofundamento técnico elevado e que deve ser tomada uma decisão de consenso entre diferentes pesquisadores de variadas áreas para diminuir os impactos desta ação na conservação da biodiversidade desta área.

Do ponto de vista de gestão destas áreas naturais, recomenda-se que a APE Ouro Preto / Mariana seja reavaliada e recategorizada de acordo com a Lei nº 9.985/2000 do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (BRASIL, 2000a). Caso contrário, segundo o art. 40 do Decreto Federal nº 4.340/2002 (BRASIL, 2000b), haverá um cenário de incertezas e conflitos sobre quais pairam as regras que regem a sua proteção ambiental. Posteriormente, caso esta situação seja resolvida, recomenda-se que estas discussões técnicas sejam abordadas no seu plano de manejo e discutidas em conjunto com o seu conselho gestor. As Reservas da Biosfera, tanto da Serra do Espinhaço e da Mata Atlântica, por possuírem conselho deliberativo formado por diferentes atores da sociedade civil organizada, instituições públicas e também de moradores locais, devem avaliar as medidas que deverão ser tomadas para reverter a tendência de piora em longo prazo que o dano ocasionado pelo desastre trás a estas áreas protegidas.

3 ATMOSFERA

Os danos à atmosfera estão majoritariamente relacionados à ressuspensão de material particulado advindo do rejeito depositado. Assim, apenas um dano foi considerado, denominado alteração da qualidade do ar.

3.1 DANOS À QUALIDADE DO AR

No relatório de diagnóstico de danos (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d) foram apresentados os dados de monitoramento da qualidade do ar realizados no período de 2016 a 2018 pela Fundação Renova, por meio de quatro estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar instaladas nos municípios de Mariana e Barra Longa, operadas pela empresa contratada da Fundação Renova, Ecosoft.

No presente relatório, a série histórica de dados foi complementada, considerando os dados do monitoramento realizado no ano de 2019 pelas quatro estações instaladas nos municípios de Mariana e Barra Longa e também, pelos dados obtidos pela estação de monitoramento Santana do Deserto, a qual teve o início de sua operação em abril de 2019, no município de Rio Doce.

Como descrito no relatório de diagnóstico de danos (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d), com base nos dados obtidos no período de 2016 a 2018, considerou-se que houve danos à qualidade do ar em decorrência do rompimento da barragem de Fundão no município de Barra Longa, principalmente no período em que o rejeito esteve depositado e sob a ação de dispersão pelo vento. Em função das violações ao padrão de qualidade do ar (10 violações ao padrão de qualidade do ar estabelecido pela Resolução CONAMA nº 003/90 (BRASIL, 1990) para as partículas totais em suspensão em outubro de 2016), o dano foi considerado gravíssimo, diante da exposição da população a essas concentrações em Barra Longa, uma vez que pessoas de grupos sensíveis podem apresentar sintomas ou agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares e a população em geral pode ser afetada, dependendo da intensidade desta concentração acima do padrão estabelecido e do tempo de exposição.

Entretanto, após as ações de recuperação e reconstrução de Barra Longa e da não disponibilidade do rejeito de forma a ressuspender, as concentrações de partículas na atmosfera atenderam aos padrões de qualidade do ar. Assim, a tendência desse dano é que ocorra a redução da concentração de partículas na atmosfera, a partir do momento em que as partículas oriundas do solo e do rejeito depositado não estejam expostas à ação do vento, caracterizando um dano reversível.

Para avaliar a continuidade desta tendência, o acompanhamento do dano foi realizado e é apresentado a seguir.

3.1.1 METODOLOGIA

Em complemento à metodologia descrita no relatório de diagnóstico de danos (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d), no qual a avaliação de danos à qualidade do ar contemplou os dados monitorados no período de 2016 a 2018, neste relatório são apresentados os dados referentes ao período de janeiro a dezembro de 2019, obtidos pelas estações instaladas em Barra longa, Paracatu de Baixo, Gesteira e Rio Doce, a qual teve o início de operação em 17/04/2019 (Tabela 29).

Tabela 29 – Coordenadas UTM e data de início da operação das estações de monitoramento da qualidade do ar instaladas pela Fundação Renova nos municípios de Mariana, Barra Longa e Rio Doce.

Estação de monitoramento	Município	Início da operação	Coordenadas UTM (Zona 23K)
Barra Longa Centro	Barra Longa	18/02/2016	704652 m E 7756035 m S
Barra Longa Volta da Capela	Barra Longa	10/08/2017	703123 m E 7755478 m S
Paracatu de Baixo	Mariana	21/12/2017	684832 m E 7753618 m S
Gesteira	Barra Longa	18/05/2018	695939 m E 7758956 m S
Santana do Deserto	Rio Doce	17/04/2019	726298 m E 7765112 m S

Cada uma das estações instaladas apresenta uma configuração de parâmetros monitorados. Esta configuração está detalhada na Tabela 30. Como as estações são automáticas, a tomada de amostra de ar pelos analisadores ocorre de forma contínua, com um volume de ar conhecido. A operação e a obtenção dos dados ocorrem 24 horas por dia. A base de dados disponibilizada é horária.

Estas estações de monitoramento da qualidade do ar foram instaladas pela Fundação Renova. A operação das estações é executada pela empresa Ecosoft, contratada da Fundação Renova.

Tabela 30 – Parâmetros monitorados nas estações de monitoramento da qualidade do ar instaladas pela Fundação Renova nos municípios de Mariana, Barra Longa e Rio Doce.

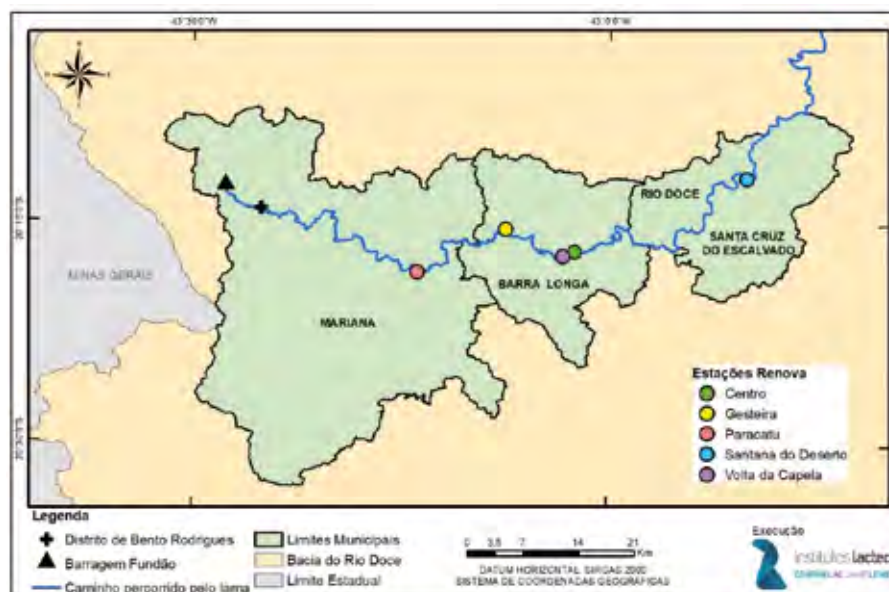
Estação de monitoramento	Parâmetros monitorados							
	Qualidade do ar			Meteorológicos				
	PM _{2,5}	PM ₁₀	PTS	DV	VV	PP	TA	UR
Barra Longa Centro	X	X	X	X	X	X	X	X
Barra Longa Volta da Capela		X	X	X	X			
Paracatu de Baixo		X						
Gesteira		X						
Santana do Deserto		X						

Legenda:

PM _{2,5} – Partículas respiráveis (< 2,5 µm)	DV – Direção do vento	TA – Temperatura ambiente
PM ₁₀ – Partículas inaláveis (< 10 µm)	VV – Velocidade do vento	UR – Umidade relativa do ar
PTS – Partículas totais em suspensão	PP - Precipitação	

Na Figura 167 estão georreferenciadas as estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar em operação nas áreas afetadas, sob responsabilidade da Fundação Renova.

Figura 167 – Localização das estações de monitoramento da qualidade do ar instaladas pela Fundação Renova e operadas pela Ecosoft nos municípios de Mariana, Barra Longa e Rio Doce.



Na Figura 168 é possível observar a visão geral da estação de monitoramento da qualidade do ar denominada Santana do Deserto, instalada no município de Rio Doce – MG.

Figura 168 – Estação de monitoramento da qualidade do ar Santana do Deserto, localizada no município de Rio Doce – MG. Fonte: Fundação Renova.



Para a avaliação dos resultados obtidos pelas estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar, os dados foram comparados com os padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990) (padrões primários e secundários) e pelos padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018) (padrão intermediário fase 1 e padrão final), a qual revogou a Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990) a partir de sua publicação em 19 de novembro de 2018. O Índice de Qualidade do Ar (IQAr) foi calculado com

base em ambas as resoluções. A metodologia completa está descrita no relatório de diagnóstico de danos (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d).

Ainda, amostras da fita de material particulado, em suas frações total, inalável e respirável, utilizadas pelos amostradores automáticos de monitoramento da qualidade do ar nas estações, foram solicitadas à Fundação Renova. Com o objetivo de avaliar a morfologia e a microestrutura das amostras de filtros de ar, microanálises foram realizadas com o uso de um microscópio eletrônico de varredura, tipo FEG (*field emission gun*) com monocristal de tungstênio e camada de zircônio, modelo MIRA3 LM, marca TESCAN, com uso dos detectores de elétrons secundários (SE) e de elétrons retroespalhados (BSE), marca TESCAN, além do uso da microsonda de espectroscopia de energia dispersiva de Raios-X para obtenção das informações químicas do material. Os parâmetros do equipamento seguiram com a tensão do feixe de elétrons de 15 kV e 20 kV, intensidade do feixe (*beam intensity*) de 15,00, abertura do feixe (*spot size*) de 18,0 nm, distância de trabalho (*work distance-WD*) de 15 mm e modo de resolução de varredura. As microanálises foram realizadas em áreas representativas do material, com tratamento prévio de cobertura para o aumento de sua condutividade. As avaliações qualitativas e semi-quantitativas dos elementos químicos presentes nos materiais, procederam com o uso do detector de espectroscopia de raios-X, marca Oxford Instruments e uma avaliação semi-quantitativa da composição elementar por microscopia eletrônica de varredura foi executada. As amostras receberam tratamento prévio para aumento da condutividade com carbono e ouro. As análises foram realizadas em ampliações padrão (1,5 kx, 3 kx, 7 kx, 11 kx e 350 kx).

Foram disponibilizadas pela Fundação Renova amostras da fita de papel filtro utilizados nas estações, em dois períodos diferentes, um referente ao início da operação da estação e outro mais recente. Os períodos disponibilizados estão melhor descritos na Tabela 31. Nem todas as estações possuem duas amostras para cada parâmetro em função da diferença da data de instalação das estações e do período em que as fitas foram solicitadas e disponibilizadas. Esta análise não foi realizada para a estação Santana do Deserto – Rio Doce, em função da data de sua instalação.

Cada período disponibilizado possui os registros das 24 horas de 15 dias de monitoramento consecutivo. A cada hora de monitoramento, o analisador acumula a massa de material particulado amostrado em uma área do papel filtro, a uma taxa constante de amostragem. Assim, ao longo de um dia de monitoramento teremos 24 amostras. Para as análises foram selecionadas 4 horas aleatórias de 2 dias de monitoramento em cada fita de papel, totalizando 104 análises. Uma análise do branco foi realizada considerando uma amostra da fita de papel filtro sem utilização.

Tabela 31 – Resumo dos parâmetros e dos períodos avaliados em cada estação de monitoramento da qualidade do ar da Fundação Renova pela técnica de microscopia eletrônica de varredura.

Estação	Parâmetro	Amostra disponibilizada	Período
Estação Barra Longa Centro	PTS	07/03/2016 a 22/03/2016	Início
	PTS	20/05/2018 a 04/06/2018	Recente
	PM ₁₀	07/03/2016 a 22/03/2016	Início
	PM ₁₀	29/05/2018 a 13/06/2018	Recente
	PM _{2,5}	15/06/2016 a 30/06/2016	Início
	PM _{2,5}	29/05/2018 a 13/06/2018	Recente

Estação	Parâmetro	Amostra disponibilizada	Período
Estação Barra Longa Volta da Capela	PTS	02/01/2018 a 1/01/2018	Início
	PTS	20/05/2018 a 04/06/2018	Recente
	PM ₁₀	27/12/2017 a 11/01/2018	Início
	PM ₁₀	30/04/2018 a 15/05/2018	Recente
Estação Paracatu	PM ₁₀	09/09/2018 a 24/09/2018	Recente
Estação Gesteira	PM ₁₀	03/10/2018 a 18/10/2018	Início
	PM ₁₀	10/02/2019 a 24/02/2019	Recente

3.1.2 ALTERAÇÃO DA QUALIDADE DO AR

Em complemento às avaliações das concentrações de partículas em suspensão, monitoradas pelas estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar, instaladas pela Fundação Renova no trecho entre o complexo de Germano e a UHE Risoleta Neves, durante o período compreendido entre 2016 a 2018, já apresentadas no relatório de diagnóstico de danos (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d), neste relatório foram analisados os dados monitorados no período de janeiro a dezembro de 2019, disponibilizados pela Fundação Renova em planilhas Excel, contemplando as médias horárias já validadas pela Ecosoft, assim como os dados da estação Santana do Deserto, a qual foi instalada em abril de 2019 no município de Rio Doce.

As médias horárias foram processadas e avaliadas de acordo com os padrões de qualidade do ar e quanto a classificação do Índice de Qualidade do Ar - IQAr, uma ferramenta matemática mundialmente utilizada para a divulgação da qualidade do ar à sociedade como um todo. Para auxiliar na interpretação dos resultados obtidos, os dados meteorológicos, monitorados apenas nas estações de Barra Longa, foram considerados como parâmetros auxiliares.

Para melhor interpretação dos dados obtidos em 2019, a série histórica já apresentada no relatório de diagnóstico de danos (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d) foi atualizada, contemplando os novos dados, de modo a facilitar a compreensão da tendência da qualidade do ar nas áreas monitoradas. Assim, os gráficos apresentados neste relatório contemplam também, os dados já apresentados anteriormente.

3.1.2.1 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos monitorados pelas estações são de extrema importância para auxiliar na interpretação dos resultados obtidos para as partículas em suspensão, uma vez que a dinâmica da atmosfera propicia condições favoráveis ou não à dispersão dos contaminantes atmosféricos.

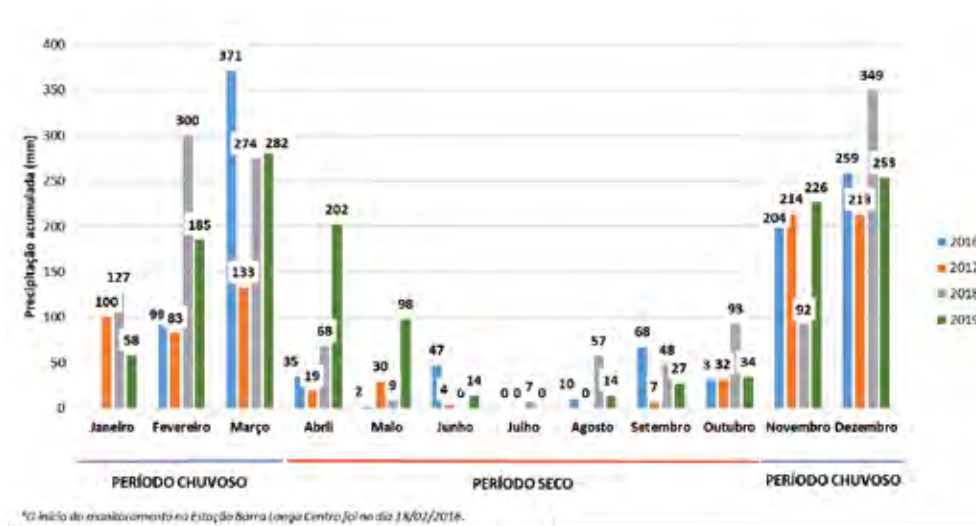
3.1.2.1.1 Estação Barra Longa Centro

Na estação Barra Longa Centro foram monitorados os parâmetros meteorológicos precipitação, temperatura ambiente, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento. Por ter sido a primeira estação a ser instalada, há uma série histórica de dados de quatro anos disponíveis, de 2016 a 2019.

Na Figura 169, pode-se observar que o período seco e chuvoso da região de Barra Longa foi bem definido. Nos meses de abril a outubro, a precipitação foi menos intensa do que no período de

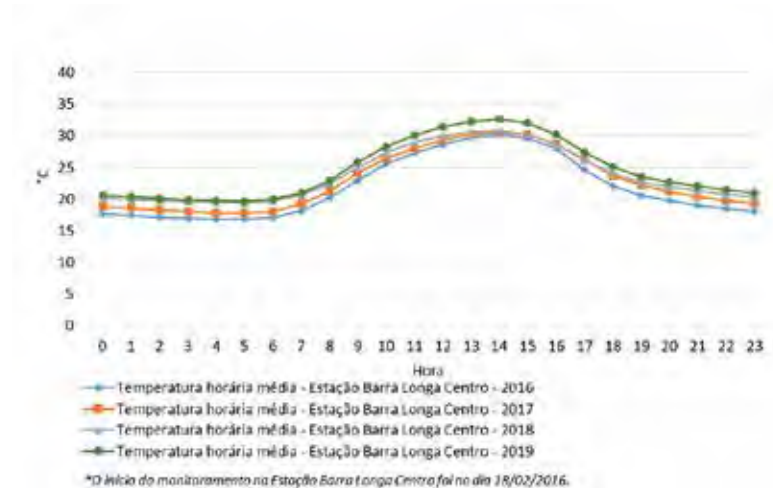
novembro a março. Destaque para os meses de abril e maio de 2019, com o acumulado de precipitação superior aos dados registrados nos anos anteriores (aproximadamente 200% a mais).

Figura 169 – Perfil da precipitação acumulada mensalmente nos anos de 2016 a 2019 na estação Barra Longa Centro.



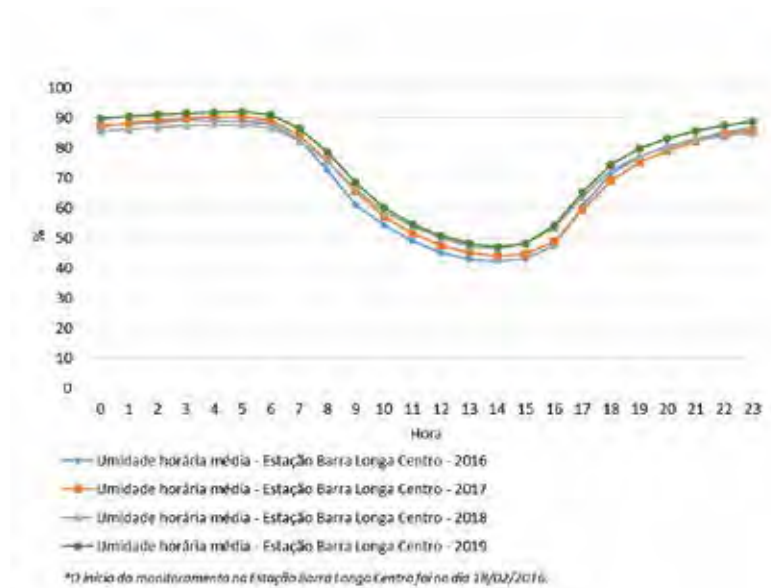
A temperatura ambiente em Barra Longa variou de 17 °C a 33 °C nos últimos quatro anos, de acordo com a série histórica de dados, conforme Figura 170.

Figura 170 – Perfil da média horária da temperatura ambiente nos anos de 2016 a 2019 na estação Barra Longa Centro.



A umidade relativa do ar em Barra Longa variou de 42% a 92% nos últimos quatro anos, de acordo com a série histórica de dados, conforme Figura 171.

Figura 171 – Perfil da média horária da umidade relativa do ar nos anos de 2016 a 2019 na estação Barra Longa Centro.



A predominância dos ventos que chegaram à estação Barra Longa Centro foi proveniente do sentido Leste para Oeste, conforme pode-se observar na Figura 172, considerando o período de 2016 a 2019. A distribuição de frequência dos ventos para o período avaliado (Figura 173) caracterizou-se em 91,9% do período com velocidade no intervalo de 0,50 a 2,50 m/s.

Figura 172 – Rosa dos ventos para o período de 2016 a 2019 na Estação Barra Longa Centro, indicando a predominância dos ventos que chegaram à estação.

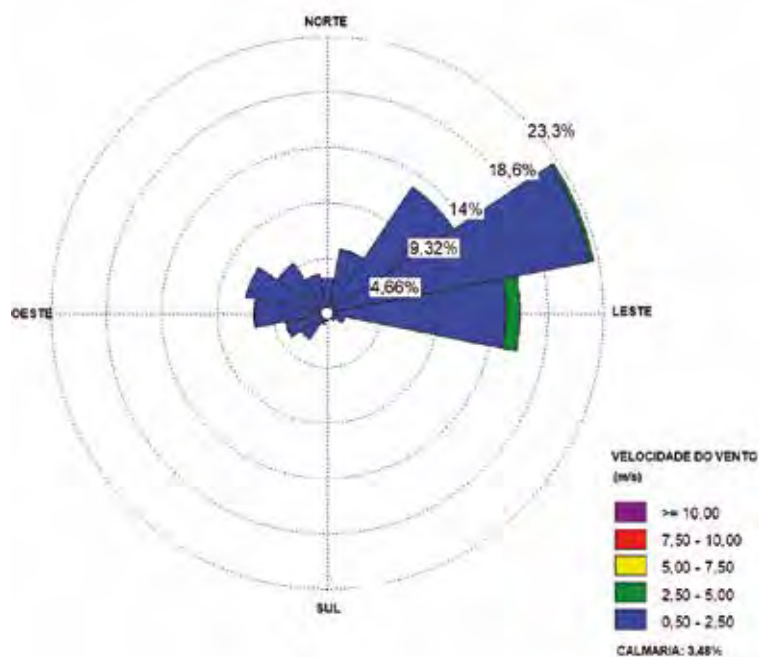
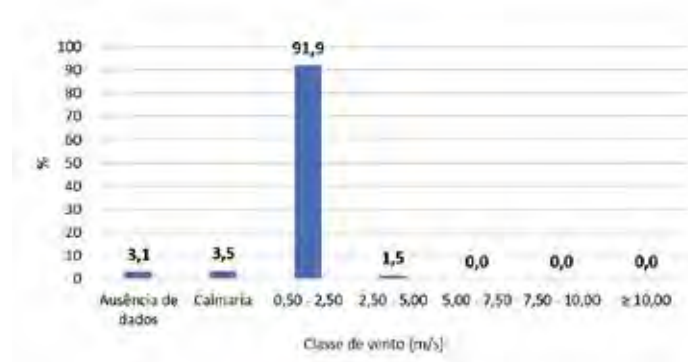


Figura 173 – Distribuição de frequência dos ventos para o período de 2016 a 2019 na Estação Barra Longa Centro.



Na Figura 174 é possível visualizar a localização da estação de monitoramento Barra Longa Centro e a predominância dos ventos que chegaram à estação no período avaliado, de 2016 a 2019.

Figura 174 – Projeção no Google Earth da rosa dos ventos para o período de 2016 a 2019 na Estação Barra Longa Centro, indicando a predominância dos ventos que chegaram à estação.



3.1.2.1.2 Estação Barra Longa Volta da Capela

A estação Barra Longa Volta da Capela monitora apenas os parâmetros meteorológicos direção e velocidade do vento. A predominância dos ventos que chegaram à estação Barra Longa Volta da Capela foi proveniente do sentido Nordeste para Sudoeste, conforme pode-se observar na Figura 175, considerando o período de 2017 a 2019. A distribuição de frequência dos ventos para o período avaliado (Figura 176) caracterizou-se em 90,5% do período com velocidade no intervalo de 0,50 a 2,50 m/s e em 5,6% com velocidade no intervalo de 2,5 a 5,0 m/s.

Figura 175 – Rosa dos ventos para o período de 2017 a 2019 na Estação Barra Longa Volta da Capela, indicando a predominância dos ventos que chegaram à estação.

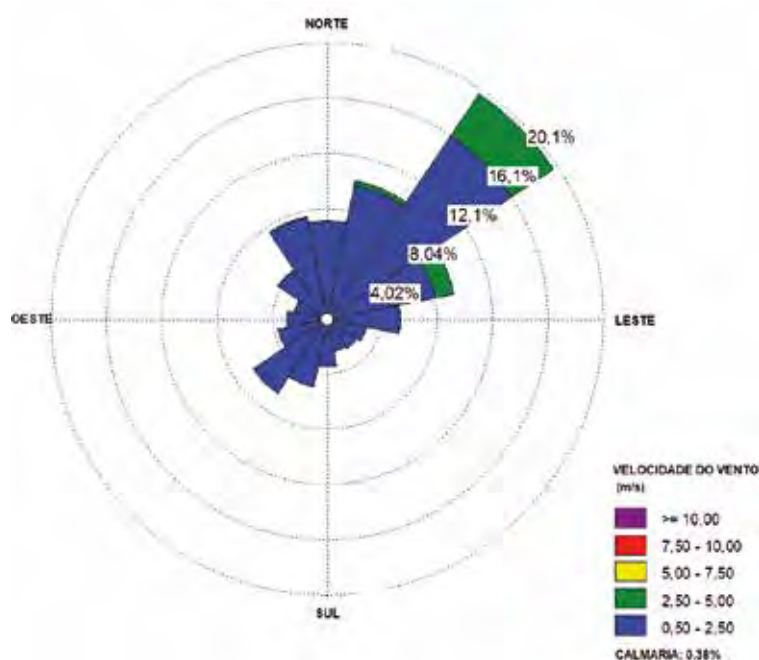
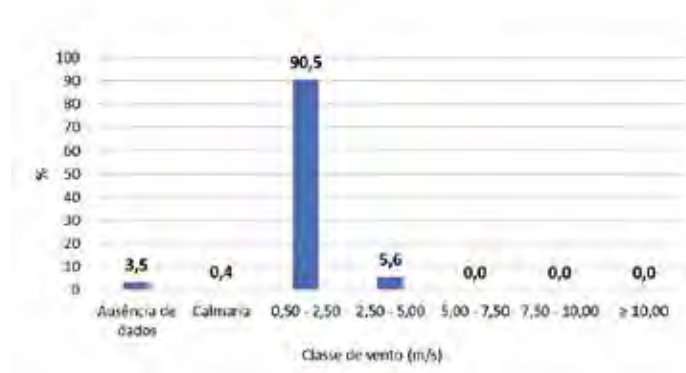


Figura 176 – Distribuição de frequência dos ventos para o período de 2017 a 2019 na Estação Barra Longa Volta da Capela.



Na Figura 177 é possível visualizar a localização da estação de monitoramento Barra Longa Volta da Capela e a predominância dos ventos que chegaram à estação no período avaliado, de 2017 a 2019.

Figura 177 – Projeção no Google Earth da rosa dos ventos para o período de 2017 a 2019 na Estação Barra Longa Volta da Capela, indicando a predominância dos ventos que chegaram à estação.



3.1.2.2 Concentração de partículas em suspensão

Para avaliar se houve alteração da concentração de partículas em suspensão ao longo do tempo, uma vez que não há linha de base disponível, os dados disponibilizados foram avaliados e serão apresentados por estação de monitoramento, contemplando as estações Barra Longa – Centro, Barra Longa – Volta da Capela, Paracatu, Gesteira e Santana do Deserto.

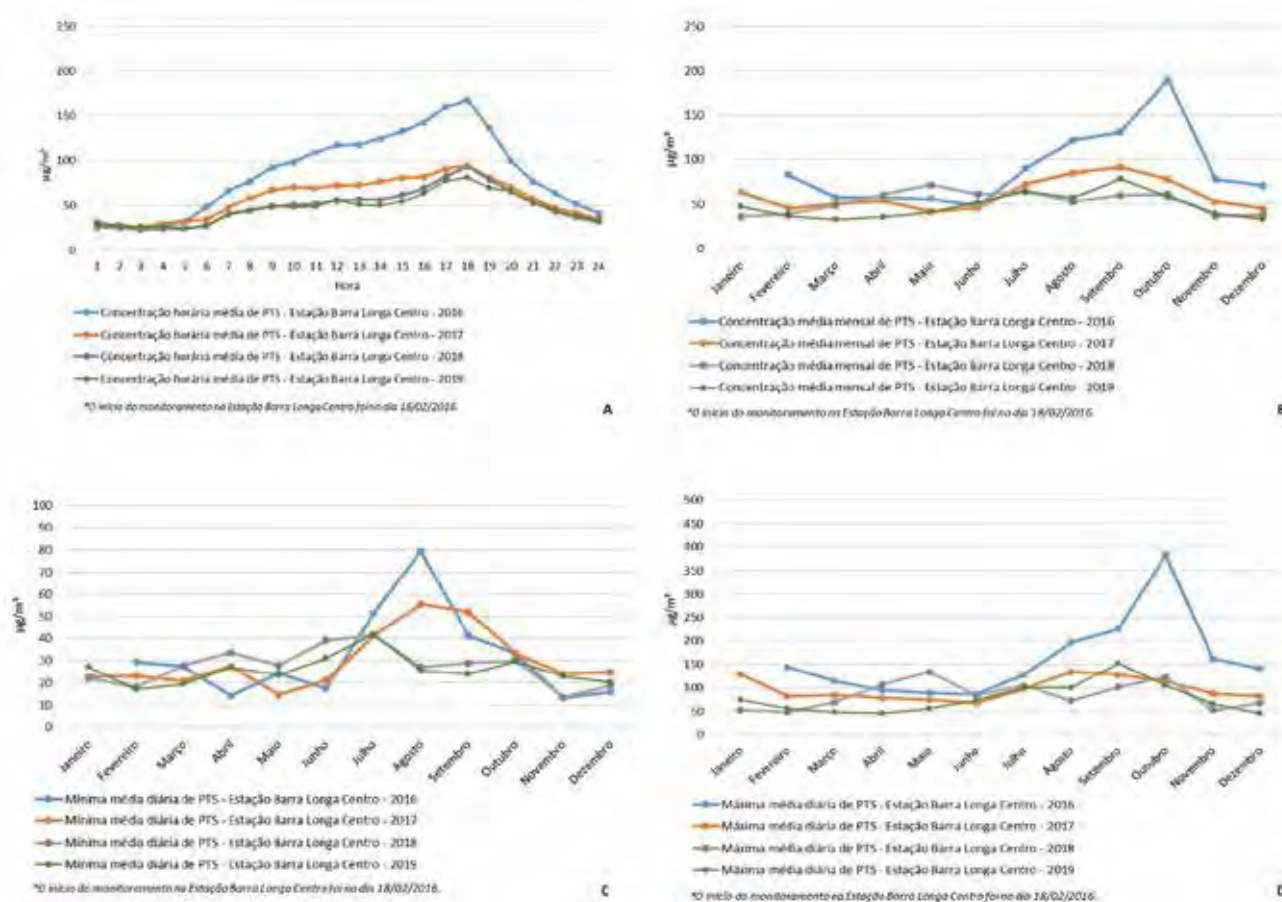
3.1.2.2.1 Estação de monitoramento da qualidade do ar Barra Longa - Centro

Na Figura 178, tem-se representada graficamente a concentração horária média de partículas totais em suspensão (PTS), a concentração diária média mensal, a concentração mínima média diária e a concentração máxima média diária. Pela análise da concentração horária média, observou-se que os valores registrados no ano de 2016 são superiores aos valores obtidos nos anos subsequentes, principalmente no período das 10 horas às 19 horas, onde observa-se um acréscimo de 40% a 79% em relação ao observado no mesmo período em 2017. Quando se avalia o gráfico que representa a concentração diária média mensal e a concentração máxima média diária, observa-se que as concentrações registradas em 2016 se destacam: para a concentração diária média mensal observa-se um acréscimo de 15% a 109% no mesmo período em relação à 2017 e para a concentração máxima média diária, um acréscimo de 28% a 184%. Este foi o período em que as obras estavam sendo executadas em Barra Longa, conforme também relatado no Relatório Anual de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia elaborado pela Ecosoft (ECOSOFT, 2017). Em função das obras, houve a movimentação do rejeito depositado, aumento do tráfego de veículos, principalmente de veículos pesados e

maquinário (ECOSOFT, 2016; ECOSOFT, 2017). Além disso, como observado na Figura 169, os meses de abril a outubro foram considerados como os que corresponderam ao período seco na região, o que pode ter contribuído, em função da ação do vento, para manter as partículas em suspensão.

Pela avaliação do comportamento das PTS nos anos de 2017 a 2019, observou-se que o comportamento entre os anos foi semelhante. Em 2017, a concentração horária média foi superior em relação ao observado em 2018 e 2019, com um acréscimo em torno de 18% a 40%, o que pode estar relacionado as condições de dispersão atmosférica. De um modo geral, a precipitação em 2017 no período chuvoso foi inferior ao registrado nos anos de 2018 e 2019, o que pode ter contribuído para a elevação das concentrações.

Figura 178 – Análise dos dados obtidos para partículas totais em suspensão (PTS) na estação Barra Longa Centro nos anos de 2016 a 2019. A. Variação média diária. B. Concentração diária média mensal. C. Concentração mínima média mensal. D. Concentração máxima média mensal.

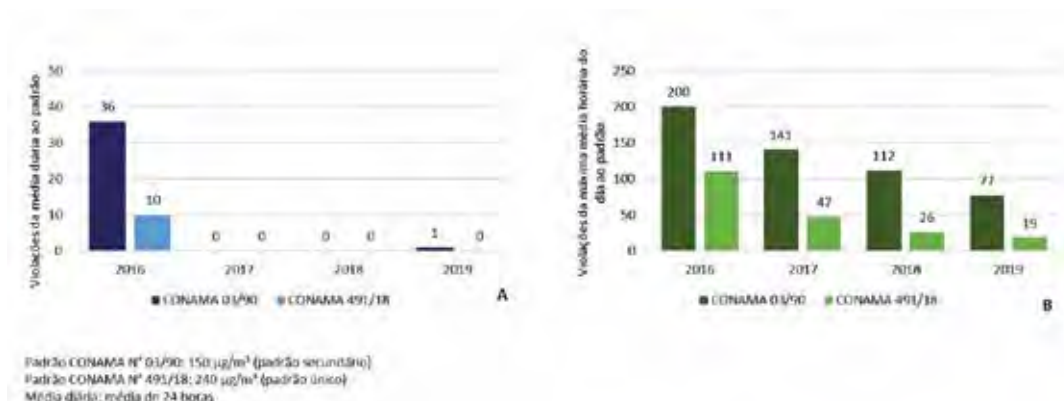


Pela avaliação da conformidade com os padrões de qualidade do ar estabelecidos, conforme Figura 179, verificou-se que em outubro de 2016 houve 10 violações ao padrão primário de qualidade do ar estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990) e pelo padrão final estabelecido pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018), ambos equivalentes a $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Além disso, houve 36 violações ao padrão secundário estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990), de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, as quais foram registradas no período de agosto a outubro. No ano de 2019, uma

violação ao padrão secundário foi registrada no mês de setembro. Nos anos de 2017 e 2018 não foram registradas violações aos padrões acima mencionados.

Apenas com o intuito de avaliar a ordem de grandeza a qual as pessoas foram expostas ao particulado total em suspensão (PTS), na Figura 179 está apresentada a avaliação da máxima média horária em relação aos padrões estabelecidos pelas resoluções CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990) e CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018). Verificou-se que a máxima média horária foi superior a 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ em 67% dos dias monitorados em 2016; em 41% dos dias monitorados em 2017; em 33% dos dias monitorados em 2018; e em 21% dos dias monitorados em 2019. Em relação ao padrão de 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a máxima média horária foi superior em 37% dos dias monitorados em 2016; em 13% dos dias monitorados em 2017; em 8% dos dias monitorados em 2018; e em 5% dos dias monitorados em 2019. É possível observar uma tendência de redução nos valores máximos da média horária registrados pela série histórica.

Figura 179 – Avaliação das violações da média diária e da máxima média horária do dia obtidos para as partículas totais em suspensão (PTS) na estação Barra Longa Centro em relação aos padrões estabelecidos pelas resoluções CONAMA nº 003/1990 (BRASIL, 1990) e CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018).

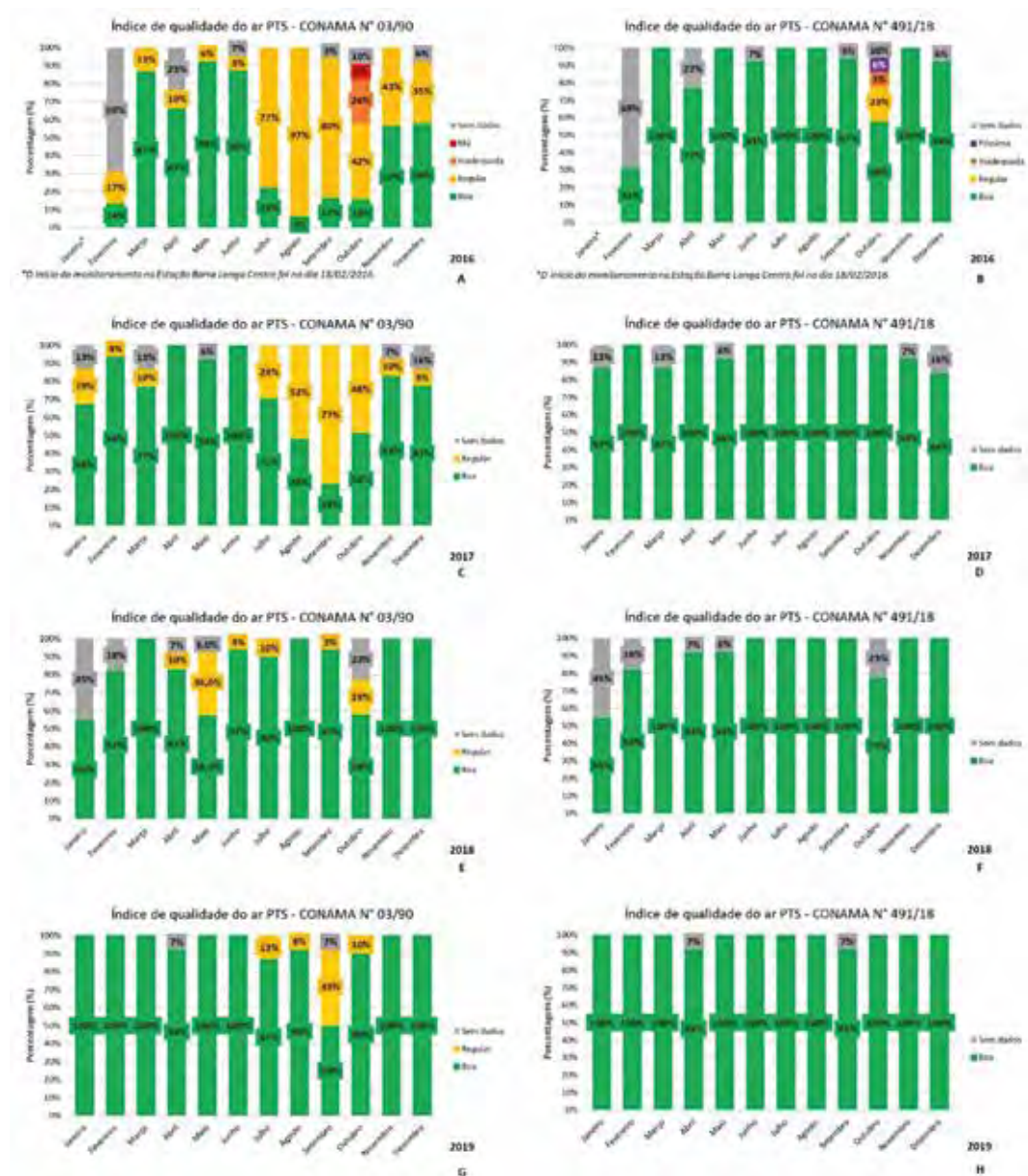


O IQAr foi calculado considerando os padrões estabelecidos por ambas as resoluções, CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990) e CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018). Como se pode observar na Figura 180, em função da alteração da escala do índice e dos intervalos correspondentes a cada classe, o IQAr para as PTS, calculado de acordo com a Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018), é menos restritivo do que o IQAr para as PTS, calculado de acordo com a Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990).

A partir da avaliação pelo critério da Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018), a qualidade do ar em relação as PTS na estação Barra Longa Centro, foi classificada como boa, com exceção do mês de outubro de 2016, no qual houve 10 violações ao padrão de qualidade do ar estabelecido, de 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, das quais 70% foram classificadas como regular, 10% como inadequada e 20% como péssima.

A partir da recomendação da Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990), a qualidade do ar oscilou entre boa e regular no período de 2016 a 2019, com exceção do mês de outubro de 2016, onde houve 10 violações ao padrão de qualidade do ar estabelecido, de 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, das quais 80% foram classificadas como inadequada e 20% como má.

Figura 180 – Índice de Qualidade do Ar (IQAr) calculado para os dados obtidos para as partículas totais em suspensão (PTS) na estação Barra Longa Centro, nos anos de 2016 a 2019. Nos gráficos A, C, E e G o IQAr foi calculado de acordo com a Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990). Nos gráficos B, D, F e H o IQAr foi calculado de acordo com a Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018).



Na Figura 181, tem-se representada graficamente a concentração horária média das partículas inaláveis menores que $10\ \mu\text{m}$ (PM_{10}), a concentração diária média mensal, a concentração mínima média diária e a concentração máxima média diária. Pela análise da concentração horária média, observou-se que os valores registrados no ano de 2016 foram superiores aos obtidos nos anos subsequentes, principalmente no período das 10 horas às 18 horas, onde observa-se um acréscimo de 41% a 53% em relação ao observado no mesmo período em 2017. Quando se avalia o gráfico que representa a concentração diária média mensal e a concentração máxima média diária, observa-se que as concentrações registradas em 2016 se destacaram: para a concentração diária média mensal observa-se um acréscimo de 29% a 51% em relação à 2017 e para a concentração máxima média diária, um acréscimo de 43% a 108%. A maior concentração máxima média diária de 2019 foi registrada no

mês de setembro e foi igual a concentração registrada no mesmo período em 2016, $87 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pelo histórico de precipitação em Barra Longa (Figura 169), setembro é um mês seco na região. Em 2019, a precipitação foi 40% inferior ao registrado no mesmo período em 2016 (Figura 169).

Pela avaliação dos teores de PM_{10} nos anos de 2017 a 2018, observou-se um comportamento semelhante quando considerada a concentração máxima média diária. Para a concentração média mensal e para a concentração mínima média diária, observou-se que, de modo geral, nos meses de agosto a dezembro, as concentrações registradas em 2017 foram superiores às concentrações registradas em 2018 e, nos meses de fevereiro a julho, as concentrações registradas em 2018 foram superiores às concentrações registradas em 2017. Para 2019, observou-se um comportamento intermediário entre o observado nos dois anos anteriores.

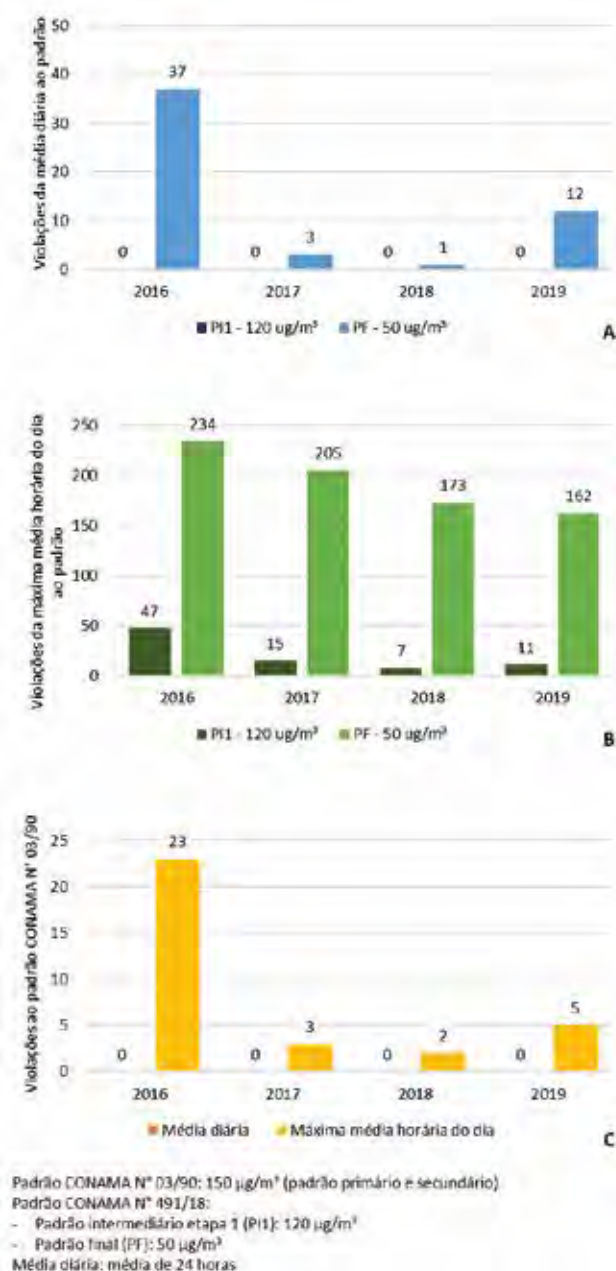
Figura 181 – Análise dos dados obtidos para as partículas inaláveis (PM_{10}) na estação Barra Longa Centro nos anos de 2016 a 2019. A. Variação média diária; B. Concentração média mensal; C. Concentração mínima média mensal; e D. Concentração máxima média mensal.



Pela análise da conformidade com os padrões de qualidade do ar estabelecidos, conforme os resultados apresentados na Figura 182, verificou-se que não houve violações ao padrão primário de qualidade do ar estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990), de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e nem pelo padrão fase intermediária 1 (PI-1) estabelecido pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018), de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pela consideração do padrão final estabelecido como meta pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018), de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e que corresponde ao valor recomendado pela OMS, no ano de 2016 foram 37 violações; em 2017, 3 violações; em 2018 apenas 1 violação e em 2019, 12 violações.

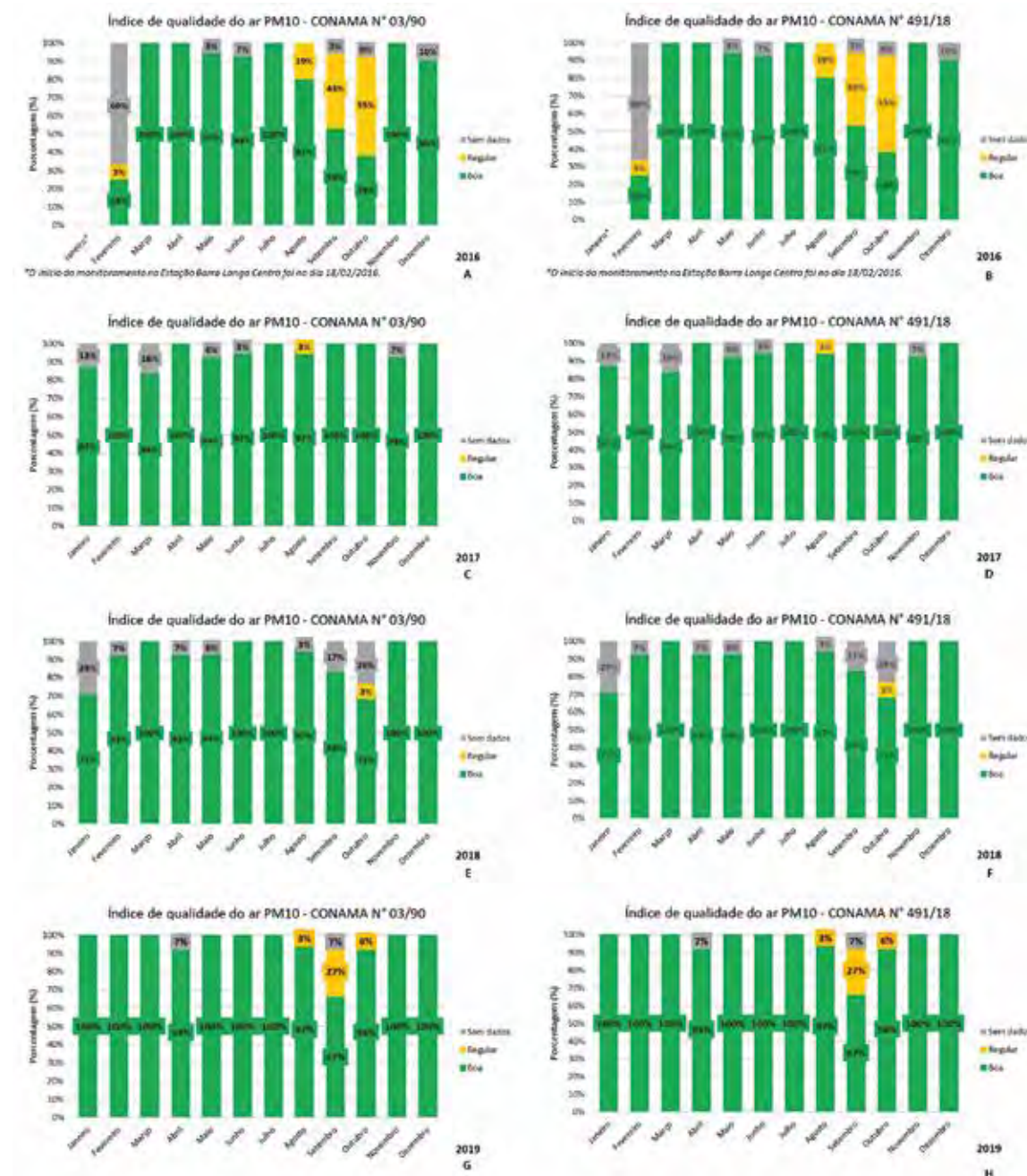
Apenas com o intuito de avaliar a ordem de grandeza a qual as pessoas foram expostas ao PM_{10} , na Figura 182 estão apresentados os resultados da máxima média horária em relação aos padrões estabelecidos pelas resoluções CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990) e CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018). Verificou-se que, pela Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990), foram 23 dias em 2016 em que a máxima média horária foi superior a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$; 3 dias em 2017; 2 dias em 2018 e 5 dias em 2019. Com a análise dos resultados pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018), foram 47 dias em 2016 em que a máxima média horária foi superior ao padrão estabelecido para a fase intermediária 1 (PI-1), de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$; 15 dias em 2017; 7 dias em 2018 e 11 dias em 2019. Para o padrão final de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, foram 234 dias em 2016 (76% dos dias monitorados); 205 dias em 2017 (58% dos dias monitorados); 173 dias em 2018 (51% dos dias monitorados) e 162 dias em 2019 (45% dos dias monitorados). Cabe aqui destacar que o padrão final estabelecido pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018) como meta a ser atingida no futuro, já é o padrão recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) desde 2005 (WHO, 2005).

Figura 182 – Avaliação das violações da média diária (A) e da máxima média horária do dia (B) obtidos para as partículas inaláveis (PM_{10}) na estação Barra Longa Centro em relação aos padrões estabelecidos pelas resoluções CONAMA nº 003/1990 (BRASIL, 1990) (C) e CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018) (A e B).



O IQAr foi calculado, considerando os padrões estabelecidos por ambas as resoluções, CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990) e CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018). Como se pode observar na Figura 183, mesmo havendo diferença da escala do índice e dos intervalos correspondentes a cada classe, o IQAr para as PM_{10} por ambas as resoluções não apresentou alteração de classificação, oscilando entre boa e regular. A classificação regular apareceu com mais intensidade no ano de 2016, nos meses de agosto, setembro e outubro, meses estes que corresponderam ao período em que obras de recuperação e de reconstrução estavam sendo executadas em Barra Longa (ECOSOFT, 2016; ECOSOFT, 2017). Além disso, agosto e setembro foram os períodos secos na região (Figura 169).

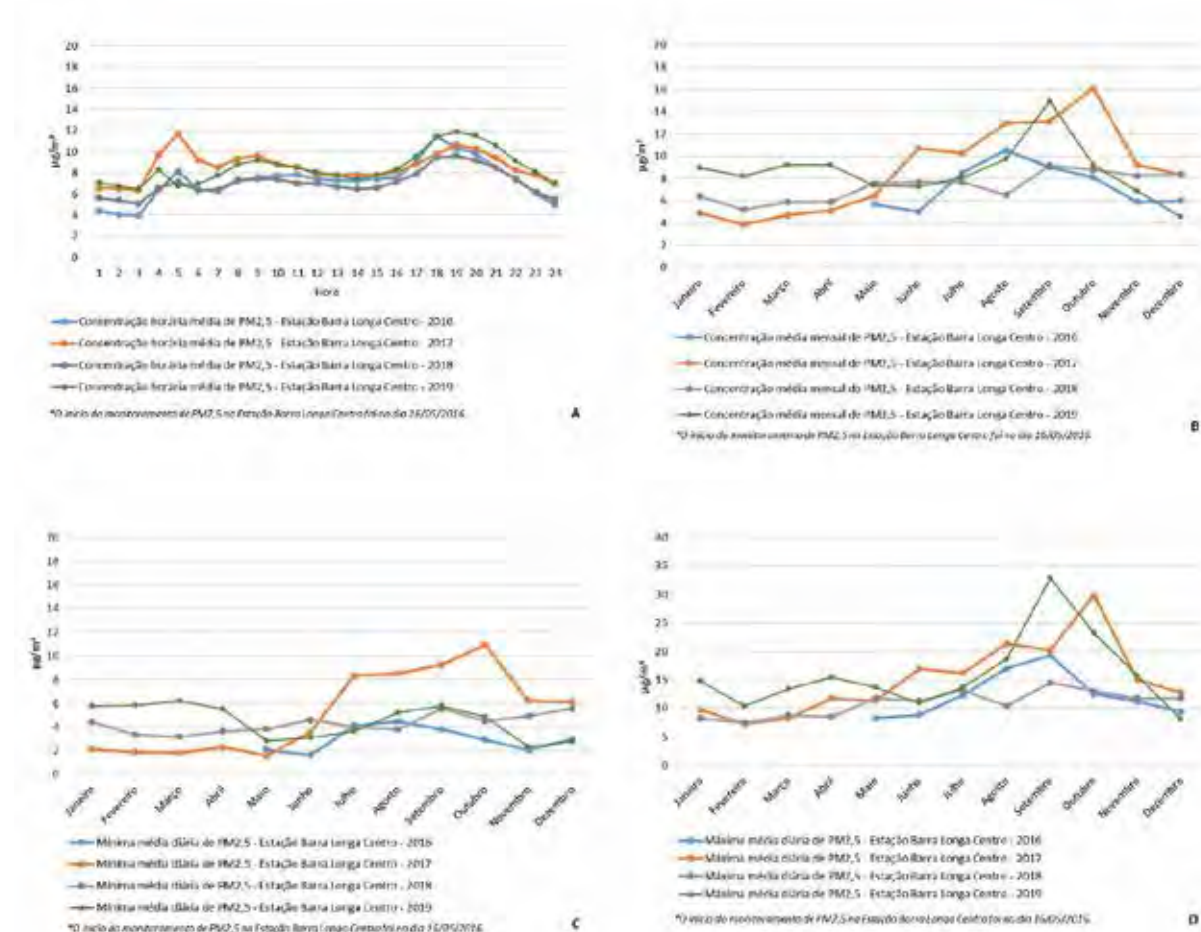
Figura 183 – Índice de Qualidade do Ar (IQAr) calculado para os dados obtidos para partículas inaláveis (PM_{10}) na estação Barra Longa Centro nos anos de 2016 a 2019. Nos gráficos A, C, E e G o IQAr foi calculado de acordo com a Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990). Nos gráficos B, D, F e H o IQAr foi calculado de acordo com a Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018).



Na Figura 184, tem-se representada graficamente a concentração horária média das $PM_{2,5}$, a concentração diária média mensal, a concentração mínima média diária e a concentração máxima média diária, lembrando que este parâmetro passou a ser monitorado em 16/05/2016. Pela análise das concentrações registradas no período de junho a novembro em 2017 (concentração diária média mensal, concentração mínima média diária e concentração máxima média diária), estas foram superiores às registradas no mesmo período em 2016, 2018 e 2019, correspondendo ao período de seca na região (Figura 169), o que pode ter contribuído para a ressuspensão das partículas. Nos meses de janeiro a abril, as concentrações registradas em 2019 foram superiores às registradas em 2017, quando

considerada a concentração diária média mensal, a concentração mínima média diária e a concentração máxima média diária.

Figura 184 – Análise dos dados obtidos para partículas respiráveis ($PM_{2,5}$) na estação Barra Longa Centro nos anos de 2016 a 2019. A. Variação média diária; B. Concentração média mensal; C. Concentração mínima média mensal; D. Concentração máxima média mensal.

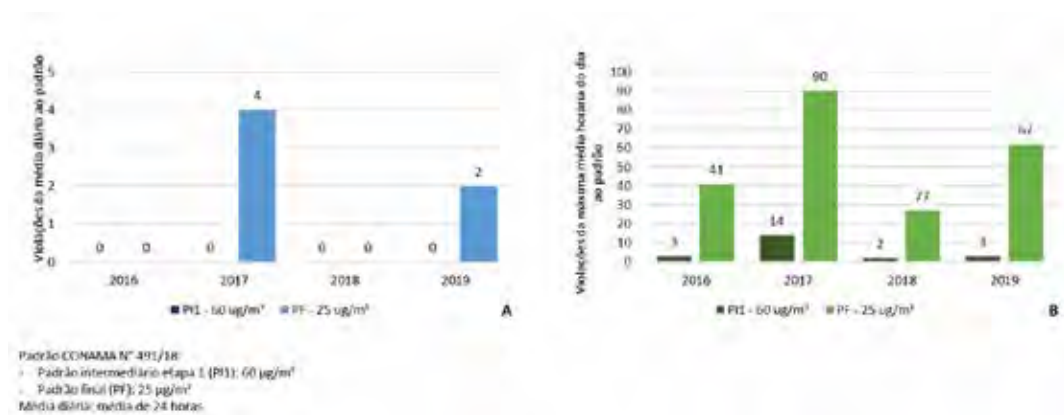


Pela análise da conformidade com os padrões de qualidade do ar estabelecidos, conforme Figura 185, verificou-se que não houve violações ao padrão fase intermediária 1 (PI-1) estabelecido pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018), de $60 \mu g/m^3$. Pela consideração do padrão final estabelecido como meta pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018), de $25 \mu g/m^3$, no ano de 2017 foram quatro violações e no ano de 2019, duas violações.

Apenas com o intuito de avaliar a ordem de grandeza a qual as pessoas foram expostas às $PM_{2,5}$, na Figura 185 estão apresentados os resultados da máxima média horária em relação aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018). Verificou-se que, foram três dias em 2016, 14 dias em 2017, dois dias em 2018 e três dias em 2019 em que a máxima média horária foi superior ao padrão estabelecido para a fase intermediária 1 (PI-1), de $60 \mu g/m^3$. Em termos do padrão final, de $25 \mu g/m^3$, foram 41 dias em 2016 (18% dos dias monitorados), 90 dias em 2017 (26% dos dias monitorados), 27 dias em 2018 (8% dos dias monitorados) e 62 dias em 2019 (17% dos dias monitorados). Cabe ressaltar adicionalmente e como já comentado, que o padrão final estabelecido

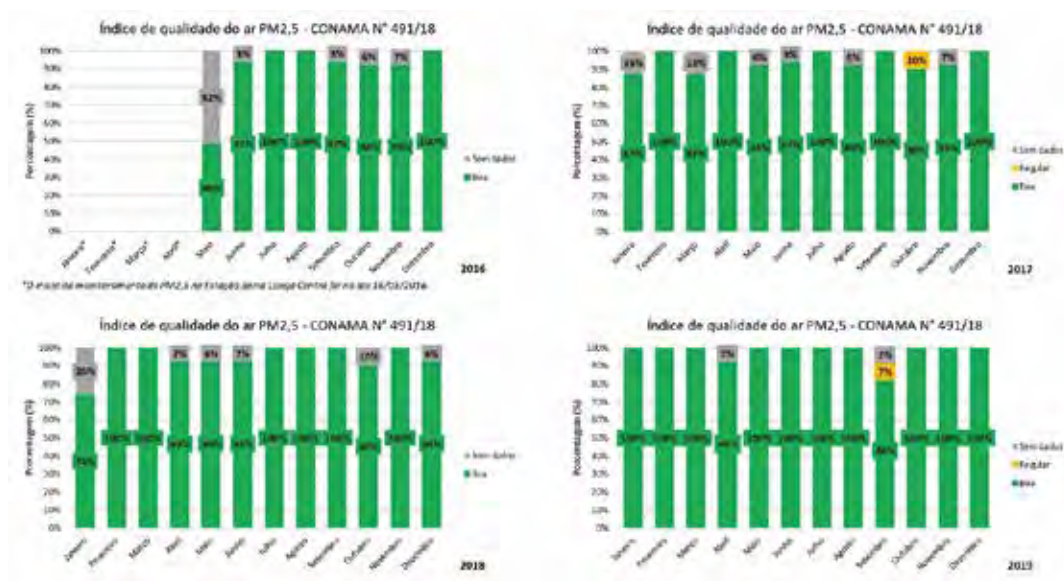
pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018) como meta a ser atingida no futuro, já é o padrão recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) desde 2005 (WHO, 2005).

Figura 185 – Avaliação das violações da média diária (A) e da máxima média horária do dia (B) obtidos para as partículas respiráveis ($PM_{2,5}$) na estação Barra Longa Centro em relação aos padrões estabelecidos pela resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018).



O IQAr foi calculado considerando os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018). Como se pode observar na Figura 186, o IQAr para as $PM_{2,5}$ foi classificado como boa em praticamente todo o período de monitoramento, com exceção do mês de outubro de 2017, em que 10% dos dias monitorados foram classificados com IQAr regular, e do mês de setembro de 2019, em que 7% dos dias monitorados também tiveram classificação regular. Outubro de 2017 foi o mês em que foram registradas as maiores concentrações de $PM_{2,5}$, conforme Figura 184.

Figura 186 – Índice de Qualidade do Ar (IQAr) calculado para os dados obtidos para as partículas respiráveis ($PM_{2,5}$) na estação Barra Longa Centro nos anos de 2016 a 2019, de acordo com a Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018).



3.1.2.2.2 Estação de monitoramento da qualidade do ar Barra Longa – Volta da Capela

Na Figura 187, tem-se representada graficamente a concentração horária média de PTS, a concentração diária média mensal, a concentração mínima média diária e a concentração máxima

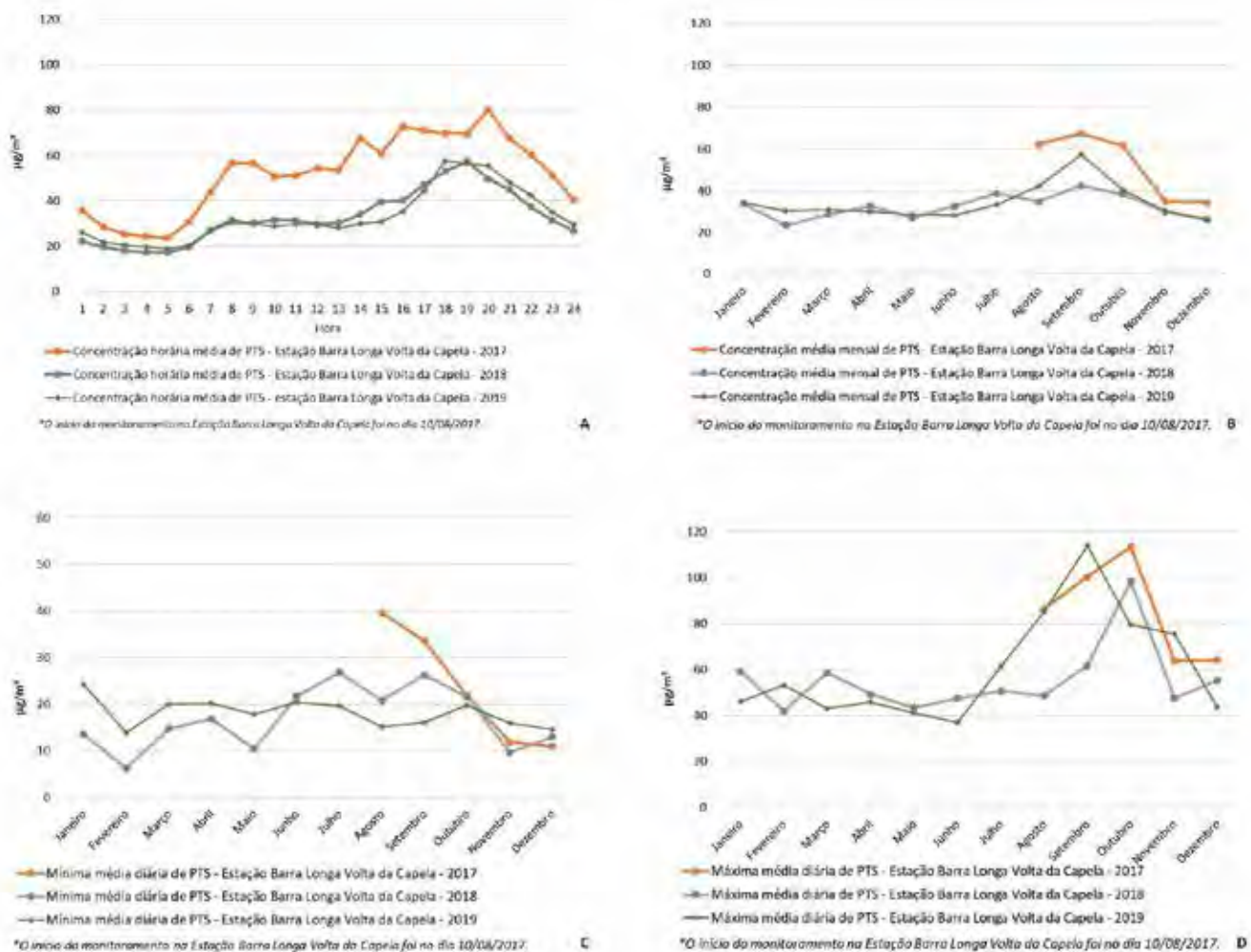
média diária dessa variável. Pela análise da concentração horária média, observou-se que os valores registrados no ano de 2017 foram superiores aos valores registrados nos anos de 2018 e 2019, o que pode estar relacionado ao baixo volume de dados obtidos em 2017, devido a operação da estação em apenas 4,5 meses. Pela avaliação da concentração média mensal, nos meses de agosto a outubro de 2017, esta foi de 31% a 59% maior do que a observada em 2018. Um comportamento similar ao anterior foi observado na avaliação dos resultados da máxima média diária de PTS, uma vez que em 2018 as concentrações se mantiveram na faixa de 33% a 47% inferiores em relação aos valores de 2017.

Em relação a concentração média mensal registrada em 2019, quando comparada às médias de 2018, observa-se diferença apenas no mês de setembro, em que a média mensal registrada em 2019 foi 36% superior à média mensal registrada no mesmo período do ano anterior.

A partir de novembro de 2017, observou-se que as concentrações médias mensais de PTS variaram pouco. O que pode ter contribuído para a redução das concentrações de PTS a partir deste período, é que ações para cobrir o rejeito depositado no Parque de Exposições foram realizadas, reduzindo a exposição do rejeito à ação do vento.

A ausência de dados em 2016 e até o início do mês de agosto de 2017, comprometeu a avaliação dos danos à qualidade do ar nesta área próxima ao Parque de Exposições, local este onde parte do rejeito foi depositado, próximo a residências e com a direção do vento favorecendo o arraste do material particulado em suspensão em direção à população (Figura 177).

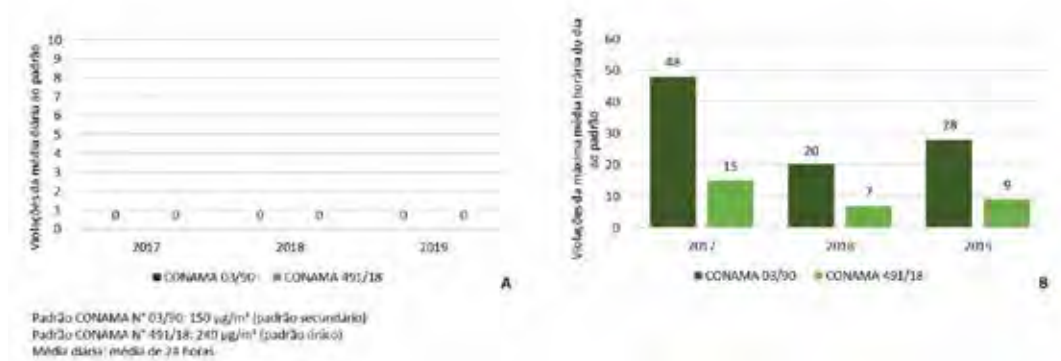
Figura 187 – Análise dos dados obtidos para partículas totais em suspensão (PTS) na estação Barra Longa Volta da Capela nos anos de 2017 a 2019. A. Variação média diária; B. Concentração média mensal; C. Concentração mínima média mensal; e D. Concentração máxima média mensal.



Pela avaliação da conformidade com os padrões de qualidade do ar estabelecidos, conforme Figura 188, verificou-se que não houve violações ao padrão primário de qualidade do ar estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990), de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pelo padrão secundário estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990), de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e pelo padrão final estabelecido pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018), equivalente a $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Apenas com o intuito de avaliar a ordem de grandeza a qual as pessoas foram expostas ao PTS, na Figura 188 está apresentada a máxima média horária em relação aos padrões estabelecidos pelas resoluções CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990) e CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018). Verificou-se que a máxima média horária foi superior a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em 34% dos dias monitorados em 2017 (48 dias), em 6% dos dias monitorados em 2018 (20 dias) e em 8% dos dias monitorados em 2019 (28 dias). Em relação ao padrão de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a máxima média horária foi superior em 11% dos dias monitorados em 2017 (15 dias), em 2% dos dias monitorados em 2018 (7 dias) e em 3% dos dias monitorados em 2019 (9 dias).

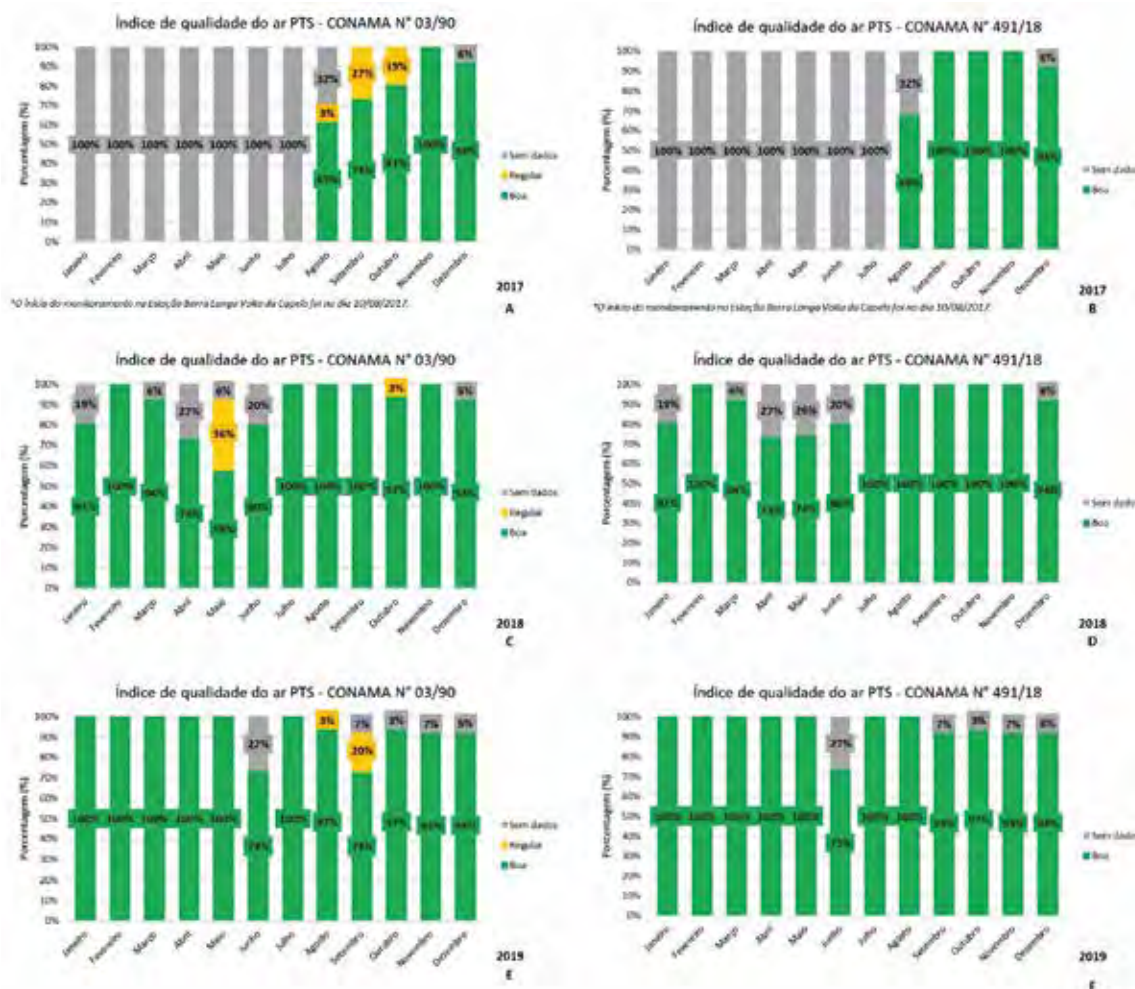
Figura 188 – Avaliação das violações da média diária (A) e da máxima média horária do dia (B) a partir dos resultados das partículas totais em suspensão (PTS) na estação Barra Longa Volta da Capela em relação aos padrões estabelecidos pelas resoluções CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990) e CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018).



O IQAr foi calculado, considerando os padrões estabelecidos por ambas as resoluções, CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990) e CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018). Como se pode observar na Figura 189, em função da alteração da escala do índice e dos intervalos correspondentes a cada classe, o IQAr para as PTS calculado de acordo com a resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018) foi menos restritivo do que o IQAr para as PTS calculado de acordo com a resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990).

Pela avaliação dos dados a partir das recomendações da Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018), a qualidade do ar, em relação as PTS na estação Barra Longa Volta da Capela, foi classificada como boa em todo o período considerado (agosto de 2017 a dezembro de 2019). Na análise pelos critérios da Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990), a qualidade do ar oscilou entre boa e regular no mesmo período.

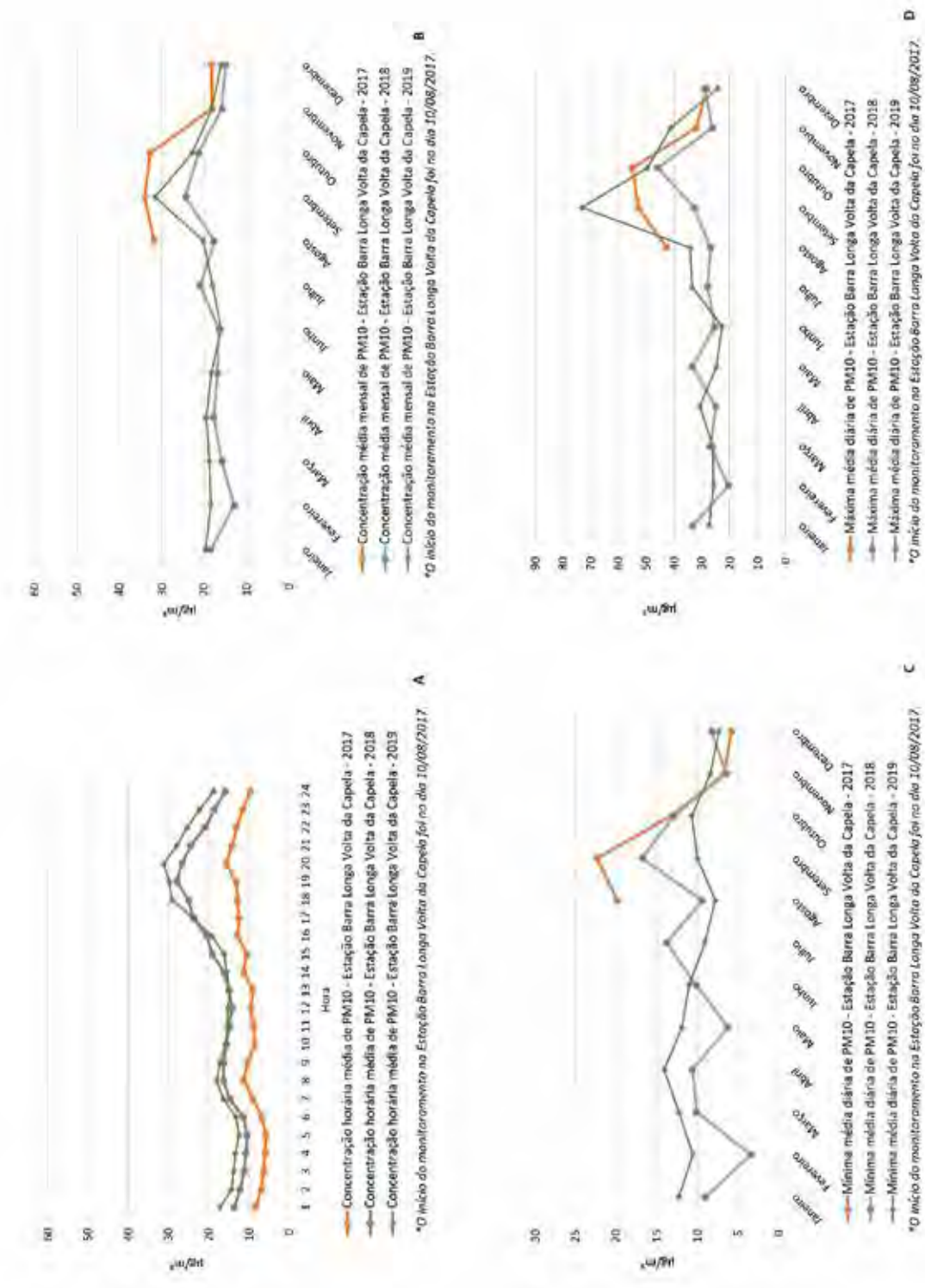
Figura 189 – Índice de Qualidade do Ar (IQAr) calculado para os dados obtidos para as partículas totais em suspensão (PTS) na estação Barra Longa Volta da Capela nos anos de 2017 a 2019. Os gráficos A, C e E foram obtidos a partir do IQAr calculado de acordo com a Resolução CONAMA nº 003/1990 (BRASIL, 1990). Nos gráficos B, D e F o IQAr foi calculado de acordo com a Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018).



Na Figura 190, tem-se representada graficamente a concentração horária média das PM_{10} , a concentração diária média mensal, a concentração mínima média diária e a concentração máxima média diária dessa variável. Pela análise da concentração horária média, observou-se que os valores registrados no ano de 2017 foram inferiores aos valores registrados nos anos de 2018 e 2019, o que pode estar relacionado ao baixo volume de dados obtidos em 2017, devido a operação da estação em apenas 4,5 meses deste ano. Quando avaliada a concentração média mensal, nos meses de agosto a outubro de 2017 a concentração foi maior do que a observada em 2018. Comportamento similar foi observado ao se avaliar a máxima média diária das PM_{10} .

A concentração diária média mensal em setembro de 2019 foi igual a registrada no mesmo período de 2017. Em relação a concentração máxima média diária mensal, o maior valor registrado em 2019 foi superior ao observado em 2017, em 38%.

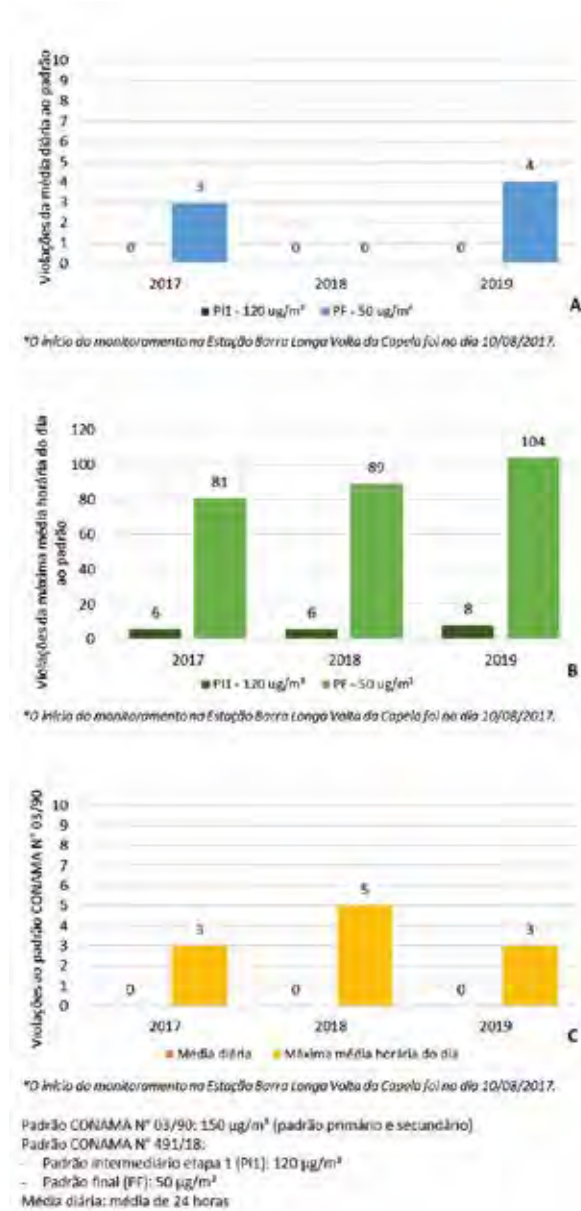
Figura 190 – Análise dos dados obtidos para partículas inaláveis (PM_{10}) na estação Barra Longa Volta da Capela nos anos de 2017 a 2019. A. Variação média diária; B. Concentração mínima média mensal; C. Concentração máxima média mensal.



Pela avaliação da conformidade com os padrões de qualidade do ar estabelecidos, conforme Figura 191, verifica-se que não houve violações ao padrão primário de qualidade do ar estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990), de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e nem pelo padrão fase intermediária 1 (PI-1) estabelecido pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018), de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pela consideração do padrão final estabelecido como meta pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018), de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, no ano de 2017 foram observadas três violações e no ano de 2019, foram observadas quatro violações.

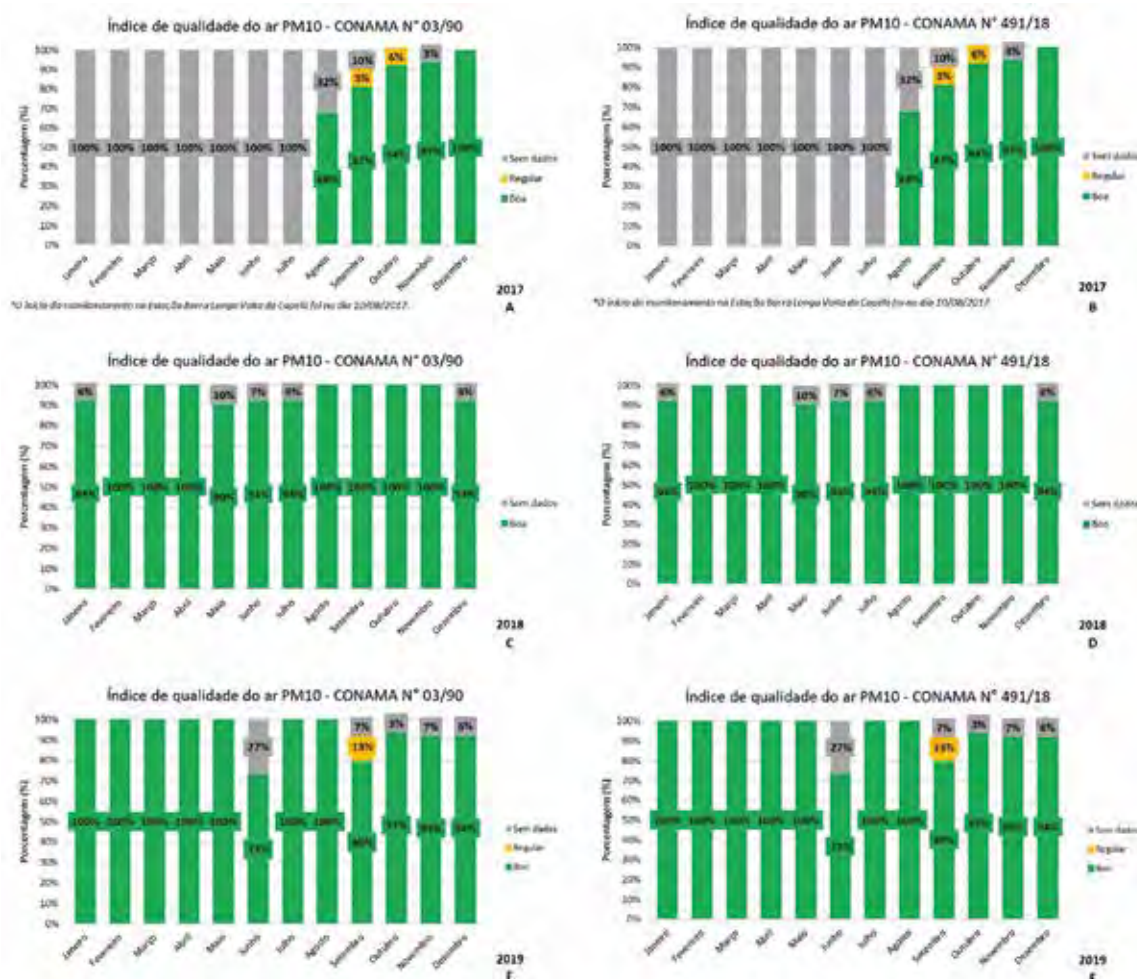
Apenas com o intuito de avaliar a ordem de grandeza a qual as pessoas foram expostas às PM_{10} , na Figura 191 estão apresentados os resultados da máxima média horária em relação aos padrões estabelecidos pelas resoluções CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990) e CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018). Verificou-se que, pela Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990), foram três dias em 2017, cinco dias em 2018 e três dias em 2019 em que a máxima média horária foi superior a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pelos critérios estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018), foram seis dias em 2017, seis dias em 2018 e oito dias em 2019 em que a máxima média horária foi superior ao padrão estabelecido para a fase intermediária 1 (PI-1), de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Em função do padrão final, de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, foram 81 dias em 2017 (58% dos dias monitorados), 89 dias em 2018 (25% dos dias monitorados) e 104 dias em 2019 (30% dos dias monitorados). Lembra-se, novamente, que o padrão final estabelecido pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018) como meta a ser atingida no futuro, já é o padrão recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) desde 2005 (WHO, 2005).

Figura 191 – Avaliação das violações da média diária (A) e da máxima média horária do dia (B) obtidos para as partículas inaláveis (PM_{10}) na estação Barra Longa Volta da Capela em relação aos padrões estabelecidos pelas resoluções CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990) (C) e CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018) (A e B).



O IQAr foi calculado considerando os padrões estabelecidos por ambas as resoluções, CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990) e CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018). Como se pode observar na Figura 192, mesmo havendo diferença da escala do índice e dos intervalos correspondentes a cada classe, o IQAr para as PM_{10} por ambas as resoluções não apresentou alteração de classificação, oscilando entre boa e regular.

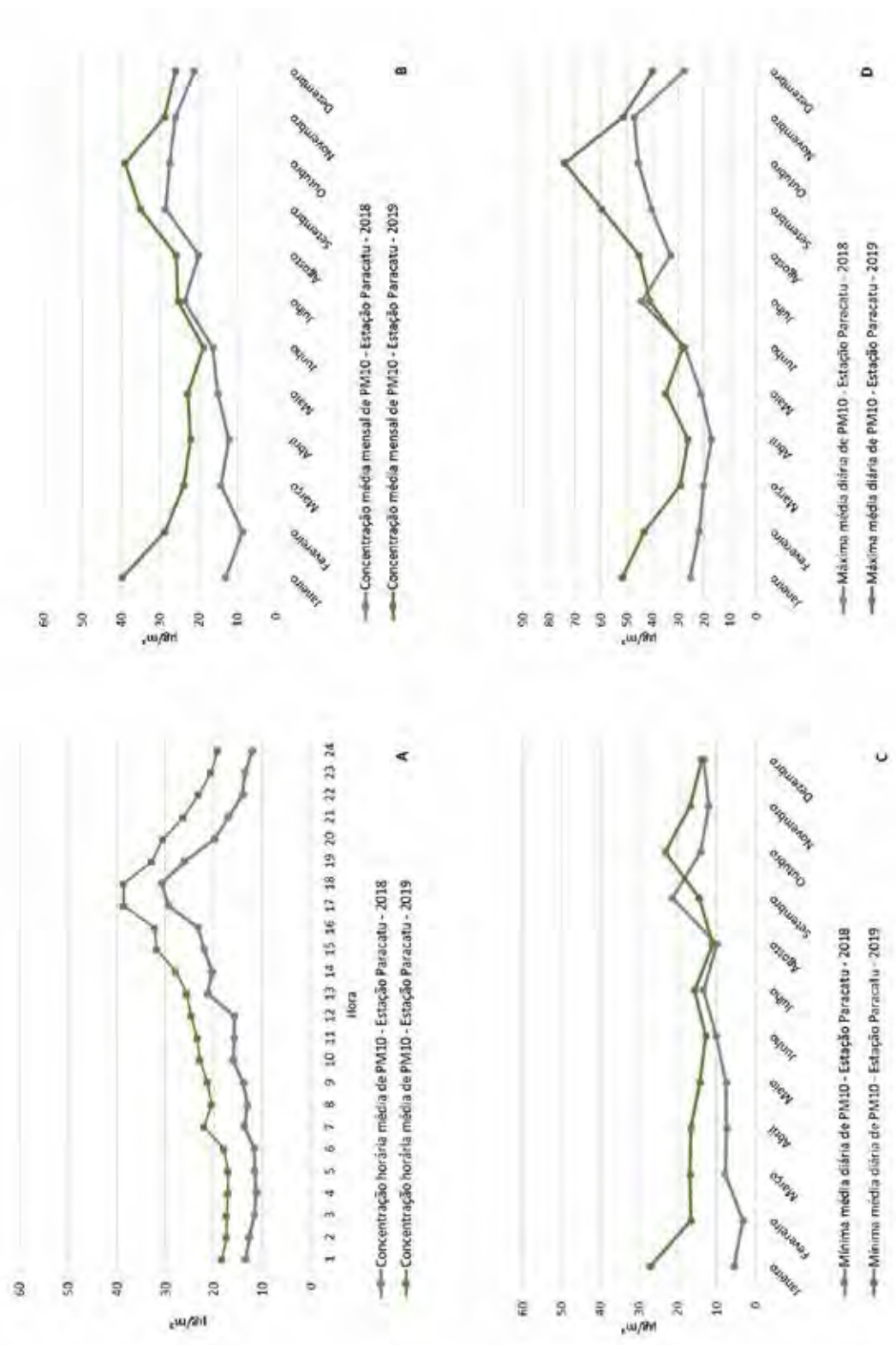
Figura 192 – Índice de Qualidade do Ar (IQAr) calculado para os dados obtidos para partículas respiráveis (PM₁₀) na estação Barra Longa Volta da Capela nos anos de 2017 a 2019. Em A, C e E o IQAr foi calculado de acordo com a Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990); em B, D e F o IQAr foi calculado de acordo com a Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018).



3.1.2.2.3 Estação de monitoramento da qualidade do ar Paracatu

A estação de Paracatu monitora apenas as PM₁₀. Na Figura 193, tem-se representada graficamente a concentração horária média de PM₁₀, a concentração diária média mensal, a concentração mínima média diária e a concentração máxima média diária. Pela análise dos resultados da concentração horária média, verifica-se uma tendência no comportamento, comparando as concentrações registradas nos dois anos de monitoramento. Observa-se que o valor máximo registrado no ano de 2018 para a média horária média foi de 31 µg/m³ e, no ano de 2019, 39 µg/m³, um incremento de 26%. Em relação a concentração mensal média, concentração mínima média mensal e concentração máxima média mensal, as concentrações registradas em 2019 são maiores do que as registradas em 2018 em praticamente todos os meses. Destaque para a concentração média mensal registrada no mês de janeiro de 2019, 108% superior ao registrado no mesmo período em 2018 e no mês de fevereiro do mesmo ano, 95% superior ao registrado em fevereiro de 2018.

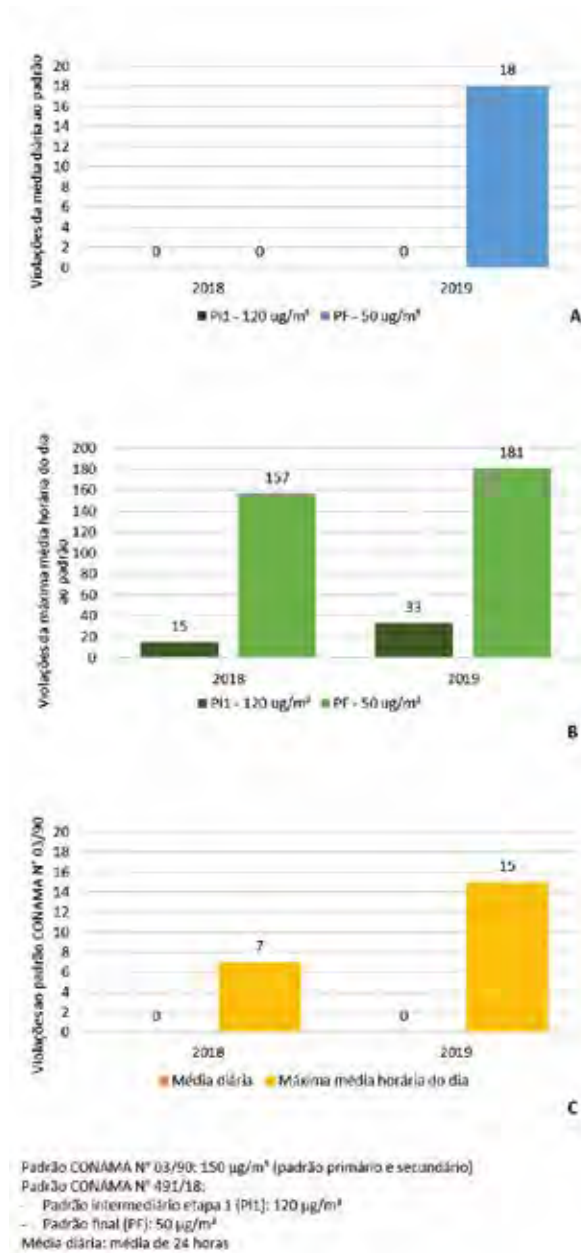
Figura 193 – Análise dos dados obtidos para partículas inaláveis (PM_{10}) na estação Paracatu nos anos de 2018 e 2019. A. Variação média diária; B. Concentração média mensal; C. Concentração mínima média mensal; e D. Concentração máxima média mensal.



Pela conformidade com os padrões de qualidade do ar estabelecidos, conforme Figura 194, verificou-se que não houve violações ao padrão primário de qualidade do ar estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990), de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e nem pelo padrão fase intermediária 1 (PI-1) estabelecido pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018), de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pela consideração do padrão final estabelecido como meta pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018), de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, no ano de 2018 não foram registradas violações. Entretanto, no ano de 2019, 18 violações foram registradas.

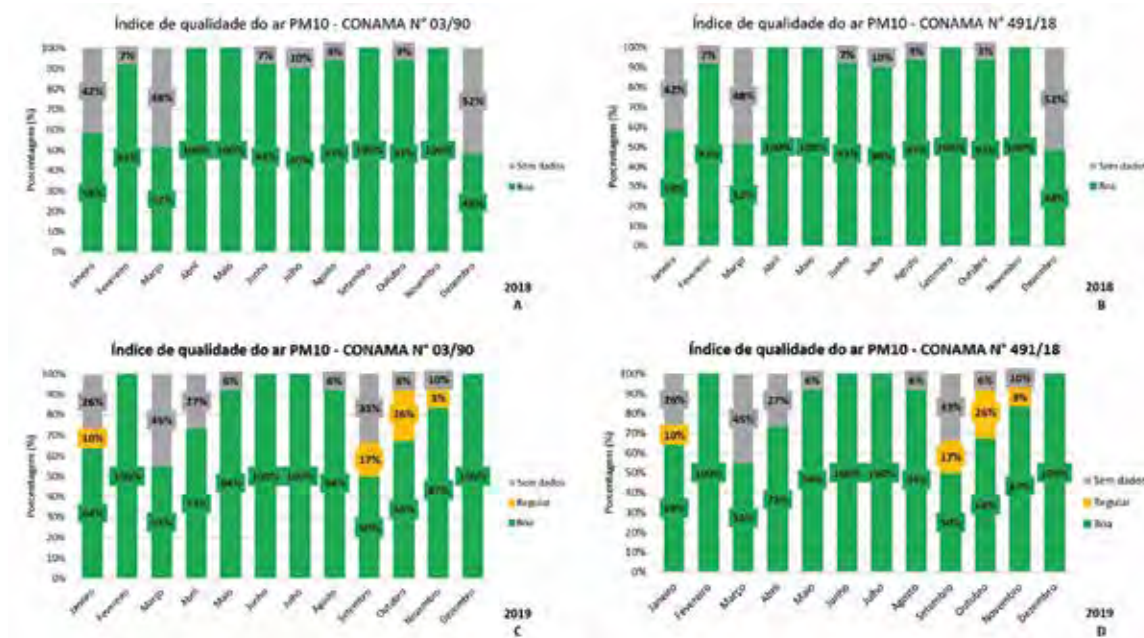
Apenas com o intuito de avaliar a ordem de grandeza a qual as pessoas foram expostas as PM_{10} , na Figura 194 também estão apresentados os resultados da máxima média horária em relação aos padrões estabelecidos pelas resoluções CONAMA nº 03/1990 e CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018). Verificou-se que, pela Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990), foram sete dias em 2018 em que a máxima média horária foi superior a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e em 2019, foram 15 dias. Pelos critérios recomendados pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018), foram 15 dias em 2018 em que a máxima média horária foi superior ao padrão estabelecido para a fase intermediária 1 (PI-1), de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e 33 dias em 2019. Em termos do padrão final, de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, foram 157 dias em 2018 (50% dos dias monitorados) e 181 dias em 2019 (57% dos dias monitorados). Novamente, cabe destacar que o padrão final estabelecido pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018) como meta a ser atingida no futuro, já é o padrão recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) desde 2005 (WHO, 2005).

Figura 194 – Avaliação das violações da média diária (A) e da máxima média horária do dia (B) obtidos para as partículas inaláveis (PM_{10}) na estação Paracatu em relação aos padrões estabelecidos pelas resoluções CONAMA nº 003/1990 (BRASIL, 1990) (C) e CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018) (A e B).



O IQAr foi calculado considerando os padrões estabelecidos por ambas as resoluções, CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990) e CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018). Como se pode observar na Figura 195, mesmo havendo diferença da escala do índice e dos intervalos correspondentes a cada classe, o IQAr para as PM_{10} por ambas as resoluções foi classificado como boa em todo o período de monitoramento avaliado em 2018 e classificado como boa e regular em 2019.

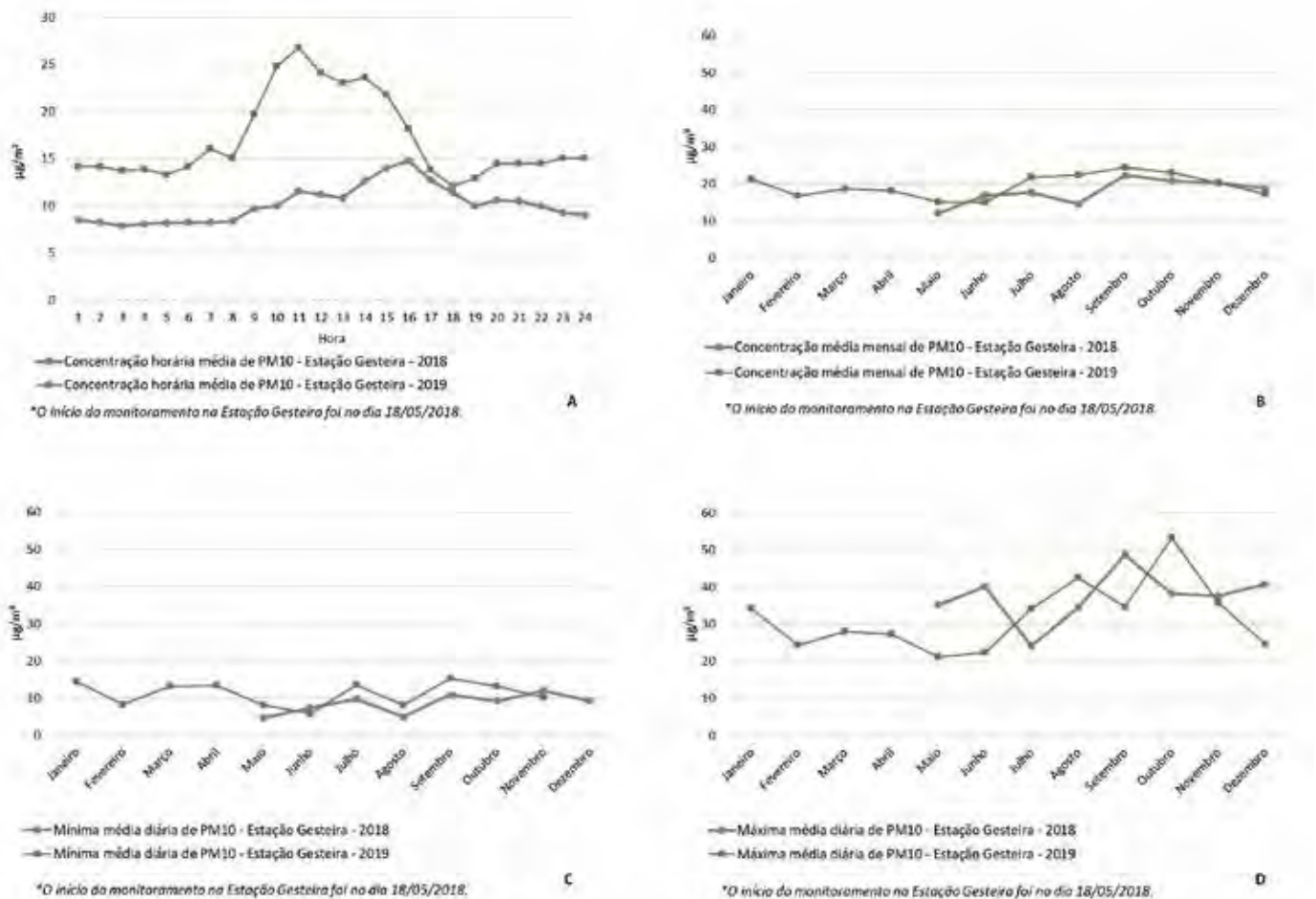
Figura 195 – Índice de Qualidade do Ar (IQAr) calculado para os dados obtidos para partículas respiráveis (PM_{10}) na estação Paracatu nos anos de 2018 e 2019. A e C. IQAr calculado de acordo com a Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990). B e D. IQAr calculado de acordo com a Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018).



3.1.2.2.4 Estação de monitoramento da qualidade do ar Gesteira

A estação de Gesteira entrou em operação em maio de 2018 e monitora apenas as PM_{10} . Na Figura 196, tem-se representada graficamente a concentração horária média das PM_{10} , a concentração diária média mensal, a concentração mínima média diária e a concentração máxima média diária. Como em 2018 a estação operou por 7,6 meses, em relação aos dados de 2019, observa-se que as concentrações horárias médias registradas em 2018 são inferiores às registradas em 2019. A máxima concentração horária média medida em 2019 é 80% superior à máxima concentração horária média medida em 2018.

Figura 196 – Análise dos dados obtidos para partículas inaláveis (PM_{10}) na estação Gesteira nos anos de 2018 e 2019. A. Variação média diária; B. Concentração média mensal; C. Concentração mínima média mensal; e D. Concentração máxima média mensal.

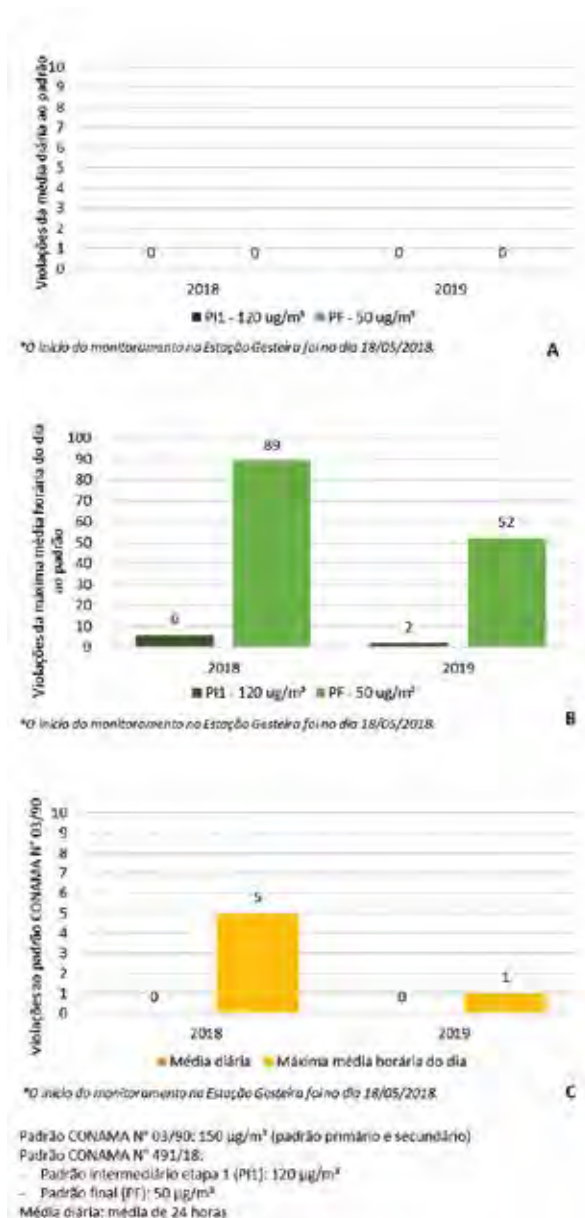


Pela análise da conformidade dos dados com os padrões de qualidade do ar estabelecidos, conforme Figura 197, verificou-se que não houve violações ao padrão primário de qualidade do ar estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990), de $150 \mu g/m^3$ e nem pelo padrão fase intermediária 1 (PI-1) estabelecido pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018), de $120 \mu g/m^3$. Com relação ao padrão final estabelecido como meta pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018), de $50 \mu g/m^3$, também não foram registradas violações em ambos os anos avaliados, 2018 e 2019.

Apenas com o intuito de avaliar a ordem de grandeza a qual as pessoas foram expostas as PM_{10} , na Figura 197 foi avaliada a máxima média horária em relação aos padrões estabelecidos pelas resoluções CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990) e CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018). Verificou-se que, pela Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990), foram cinco dias em 2018 em que a máxima média horária foi superior a $150 \mu g/m^3$, e um dia em 2019. Em termos da Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018), foram seis dias em 2018 em que a máxima média horária foi superior ao padrão estabelecido para a fase intermediária 1 (PI-1), de $120 \mu g/m^3$, e dois dias em 2019. Já pelo padrão final de $50 \mu g/m^3$, foram 89 dias em 2018 (44% dos dias monitorados) e 52 dias em 2019 (17%

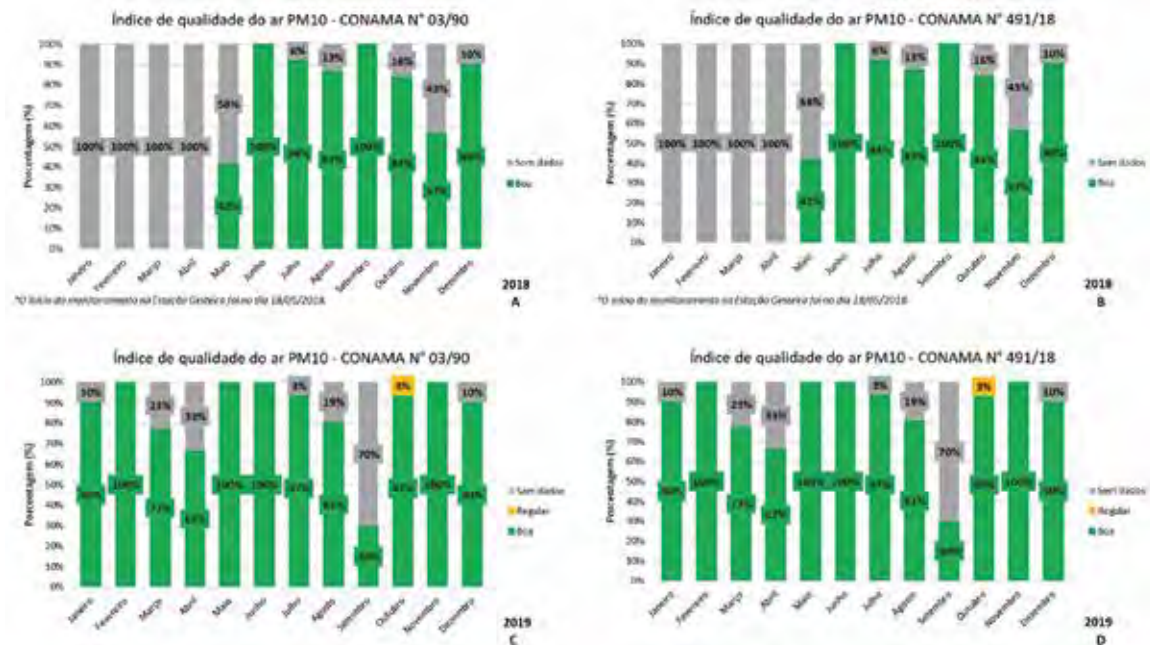
dos dias monitorados). Como já comentado anteriormente o padrão final estabelecido pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018) como meta a ser atingida no futuro, já é o padrão recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) desde 2005 (WHO, 2005).

Figura 197 – Avaliação das violações da média diária (A) e da máxima média horária do dia (B) obtidos para as partículas inaláveis (PM_{10}) na estação Gesteira em relação aos padrões estabelecidos pelas resoluções CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990) (C) e CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018) (A e B).



O IQAr foi calculado considerando os padrões estabelecidos por ambas as resoluções, CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990) e CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018). Como se pode observar na Figura 198, mesmo havendo diferença da escala do índice e dos intervalos correspondentes a cada classe, o IQAr para as PM_{10} por ambas as resoluções foi classificado como boa em todo o período de monitoramento avaliado no ano de 2018. Em 2019, o IQAr foi classificado como boa em quase todos os dias monitorados, com exceção do mês de outubro em que 3% dos dias monitorados foram classificados com qualidade do ar regular.

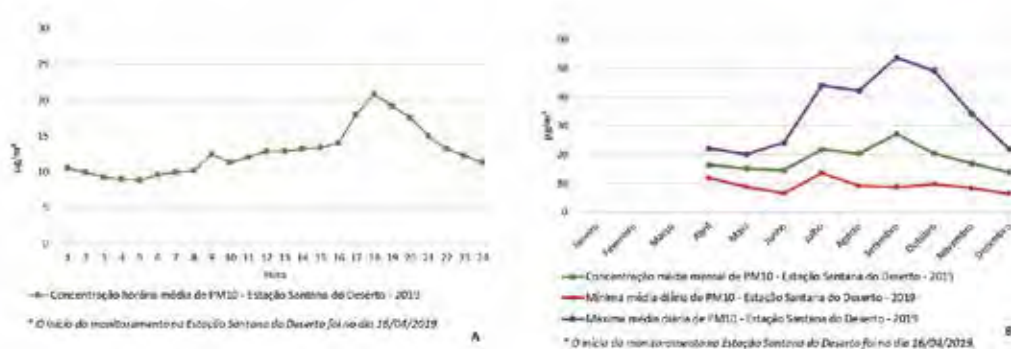
Figura 198 – Índice de Qualidade do Ar (IQAr) calculado para os dados obtidos para partículas respiráveis (PM_{10}) na estação Gesteira nos anos de 2018 e 2019. A e C IQAr calculado de acordo com a Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990). B e D IQAr calculado de acordo com a Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018).



3.1.2.2.5 Estação de monitoramento da qualidade do ar Santana do Deserto

A estação Santana do Deserto entrou em operação em abril de 2019 e monitora apenas as PM_{10} . Na Figura 199, tem-se representada graficamente a concentração horária média das PM_{10} , a concentração diária média mensal, a concentração mínima média diária e a concentração máxima média diária. Pela concentração horária média, observou-se que o valor máximo registrado no ano de 2019 foi de $21 \mu g/m^3$. Em relação a concentração mensal média, o valor máximo foi registrado no mês de setembro, correspondendo a $27 \mu g/m^3$.

Figura 199 – Análise dos dados obtidos para partículas inaláveis (PM_{10}) na estação Santana do Deserto no ano de 2019. A. Variação média diária; B. Concentração média mensal, concentração mínima média mensal e concentração máxima média mensal.



Pela análise da conformidade dos dados com os padrões de qualidade do ar estabelecidos, conforme Figura 200, verificou-se que não houve violações ao padrão primário de qualidade do ar estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990), de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e nem pelo padrão fase intermediária 1 (PI-1) estabelecido pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018), de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Com relação ao padrão final estabelecido como meta pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018), de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, no ano de 2019, uma violação foi registrada.

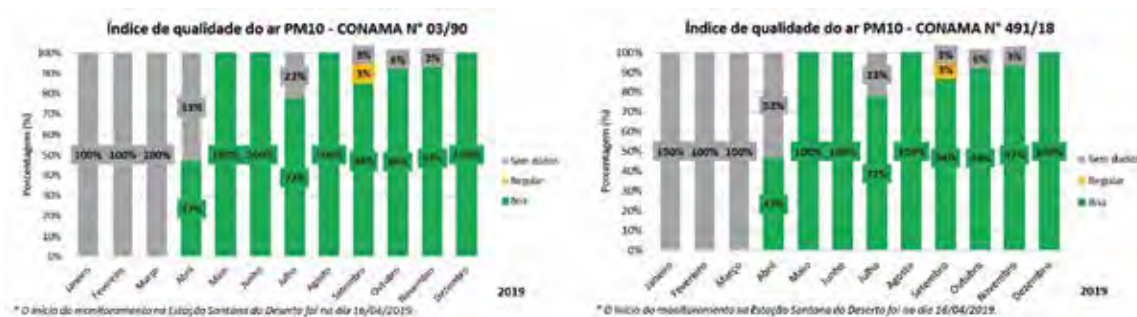
Apenas com o intuito de avaliar a ordem de grandeza a qual as pessoas foram expostas as PM_{10} , na Figura 200 foi avaliada a máxima média horária em relação aos padrões estabelecidos pelas resoluções CONAMA nº 03/1990 e CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018). Verificou-se que, pela Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990), foram quatro dias em 2019 em que a máxima média horária foi superior a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Em termos da Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018), foram quatro dias em 2019 em que a máxima média horária foi superior ao padrão estabelecido para a fase intermediária 1 (PI-1), de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Já, pelo padrão final, de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, foram 59 dias em 2019 (24% dos dias monitorados). Como já comentado anteriormente o padrão final estabelecido pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018) como meta a ser atingida no futuro, já é o padrão recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) desde 2005 (WHO, 2005).

Figura 200 – Avaliação das violações da média diária (A) e da máxima média horária do dia (B) obtidos para as partículas inaláveis (PM_{10}) na estação Santana do Deserto em relação aos padrões estabelecidos pelas resoluções CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990) (C) e CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018) (A e B).



O IQAr foi calculado considerando os padrões estabelecidos por ambas as resoluções, CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990) e CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018). Como se pode observar na Figura 201, mesmo havendo diferença da escala do índice e dos intervalos correspondentes a cada classe, o IQAr para as PM_{10} por ambas as resoluções foi classificado como boa em quase todo o período de monitoramento avaliado, com exceção do mês de setembro, em que 3% dos dias monitorados foram classificados com qualidade do ar regular.

Figura 201 – Índice de Qualidade do Ar (IQAr) calculado para os dados obtidos para partículas respiráveis (PM_{10}) na estação Santana do Deserto no ano de 2019. A. IQAr calculado de acordo com a Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990); e B. IQAr calculado de acordo com a Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018).



3.1.2.2.6 Resumo

Na Tabela 32 estão resumidos os resultados obtidos pela análise da concentração de partículas em suspensão em suas frações total (PTS), inalável (PM_{10}) e respirável ($PM_{2,5}$) monitoradas nos municípios de Mariana, Barra Longa e Rio Doce, quando comparados aos padrões estabelecidos de qualidade do ar a nível nacional.

Considerando a resolução vigente durante o monitoramento, foram registradas 10 violações ao padrão primário de qualidade do ar, estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990), equivalente a $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para as PTS na estação Barra Longa Centro, em outubro de 2016. Neste período, a área central do município estava sendo reconstruída, o que resultou em um tráfego de veículos acima do normal, remoção do rejeito e demais atividades relacionadas às obras, as quais propiciaram um aumento de partículas em suspensão. Ainda, na região o período de abril a outubro é caracterizado pela baixa precipitação em relação aos demais meses do ano, o que também favorece a permanências de partículas em suspensão.

Nos anos seguintes, a concentração de PTS demonstrou tendência de reduzir. Este comportamento pode estar relacionado a uma menor área com rejeito depositado sem cobertura, por exemplo uma cobertura vegetal, ou em função da limpeza das áreas atingidas ou remoção do rejeito. Ainda, as condições meteorológicas de um ano para outro variam, o que pode ter influenciado nas concentrações.

Para as PM_{10} , o que se observou foi um aumento das concentrações registradas no ano de 2019 em relação aos anos anteriores nas estações Paracatu e Gesteira. Comportamento parecido foi observado para as $PM_{2,5}$ na estação Barra Longa Centro. Mesmo assim, as concentrações são inferiores aos atuais padrões de qualidade do ar estabelecidos nacionalmente.

Tabela 32 – Número de violações aos padrões de qualidade do ar estabelecidos, obtidos pelo monitoramento da Fundação Renova nos anos de 2016 a 2019, para as concentrações de partículas em suspensão.

Parâmetro	Estação	Ano	CONAMA nº 03/1990 (padrão primário)	CONAMA nº 491/2018 (PI-1)	CONAMA nº 491/2018 (PF)*
PTS	Barra Longa Centro	2016	10	NA	10
		2017	0	NA	0
		2018	0	NA	0
		2019	0	NA	0
	Barra Longa Volta da Capela	2017	0	NA	0
		2018	0	NA	0
		2019	0	NA	0
PM ₁₀	Barra Longa Centro	2016	0	0	37
		2017	0	0	3
		2018	0	0	1
		2019	0	0	12
	Barra Longa Volta da Capela	2017	0	0	3
		2018	0	0	0
		2019	0	0	4
	Paracatu	2018	0	0	0
		2019	0	0	18
	Gesteira	2018	0	0	0
		2019	0	0	0
	Santana do Deserto	2019	0	0	1
PM _{2,5} **	Barra Longa Centro	2016	NA	0	0
		2017	NA	0	4
		2018	NA	0	0
		2019	NA	0	2

*A comparação com o padrão final da Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018) é equivalente à comparação com os padrões estabelecidos pela OMS em 2005.

**Para o parâmetro PM_{2,5}, a Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990) não estabelece um padrão de qualidade do ar.

NA: não se aplica.

3.1.2.3 Avaliação semi-quantitativa da composição elementar de amostras de partículas em suspensão no ar por microscopia eletrônica de varredura com EDS

Pela avaliação semi-quantitativa da composição elementar por microscopia eletrônica de varredura com EDS em amostras de partículas em suspensão no ar, coletadas pelos analisadores contínuos de material particulado, em operação nas estações de monitoramento da qualidade do ar instalados pela Fundação Renova, foi possível avaliar a morfologia e a textura das partículas presentes no ar das regiões amostradas, bem como verificar os elementos químicos principais ocorrentes. Os resultados obtidos na íntegra, estão disponíveis no Anexo O.

Conforme pode ser verificado pelas micrografias, Figura 202 a Figura 214, as amostras de ar, de forma geral, possuem morfologia aglomeradas e esféricas.

Figura 202 – Micrografias de amostras de PM_{10} obtidas na estação Barra Longa Centro em período inicial de operação da estação.

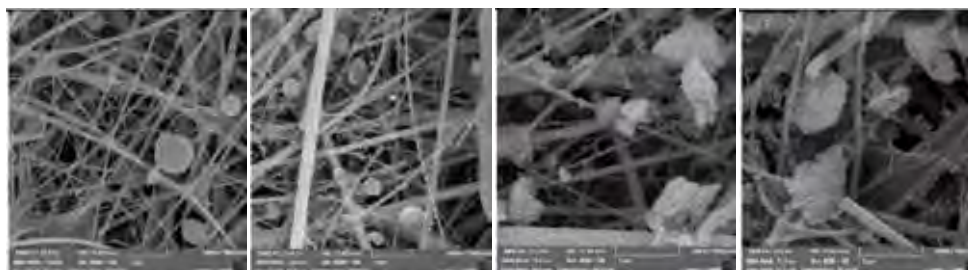


Figura 203 – Micrografias de amostras de PM_{10} obtidas na estação Barra Longa Centro em período recente de operação da estação.

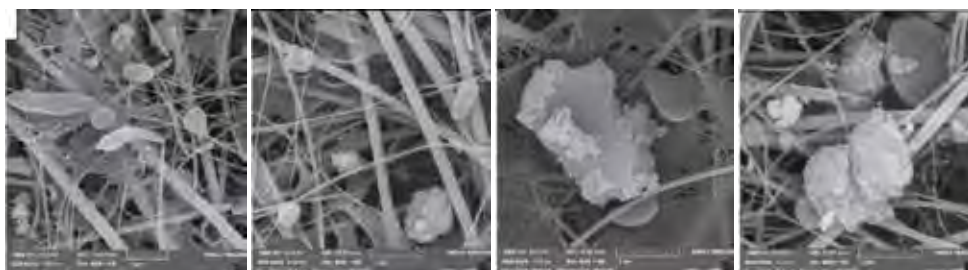


Figura 204 – Micrografias de amostras de $PM_{2,5}$ obtidas na estação Barra Longa Centro em período inicial de operação da estação.

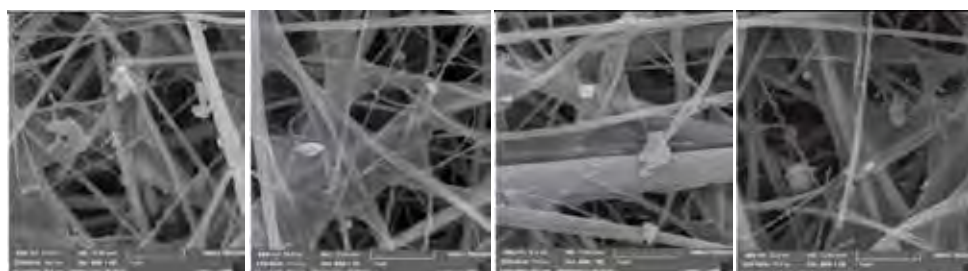


Figura 205 – Micrografias de amostras de $PM_{2,5}$ obtidas na estação Barra Longa Centro em período recente de operação da estação.

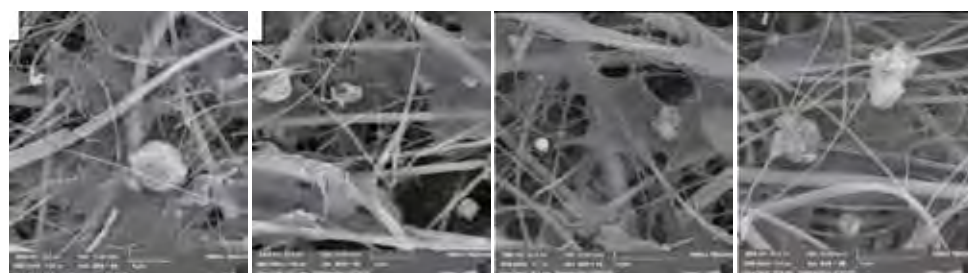


Figura 206 – Micrografias de amostras de PTS obtidas na estação Barra Longa Centro em período inicial de operação da estação.

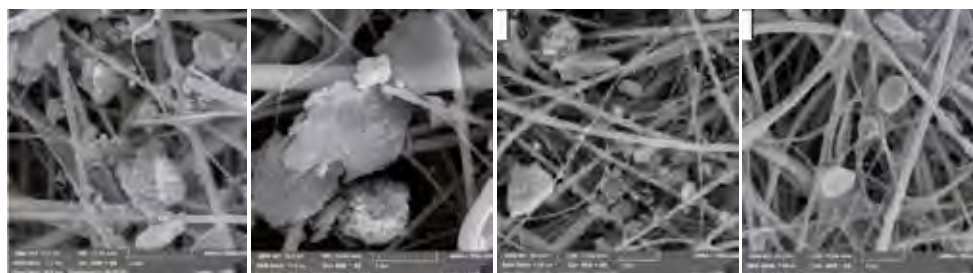


Figura 207 – Micrografias de amostras de PTS obtidas na estação Barra Longa Centro em período recente de operação da estação.



Figura 208 – Micrografias de amostras de PM_{10} obtidas na estação Barra Longa Volta da Capela em período inicial de operação da estação.

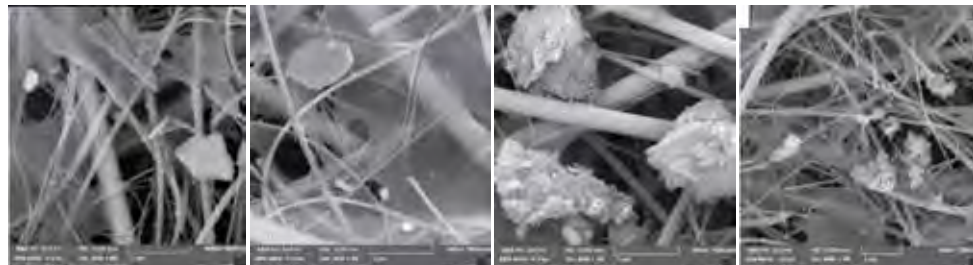


Figura 209 – Micrografias de amostras de PM_{10} obtidas na estação Barra Longa Volta da Capela em período recente de operação da estação.

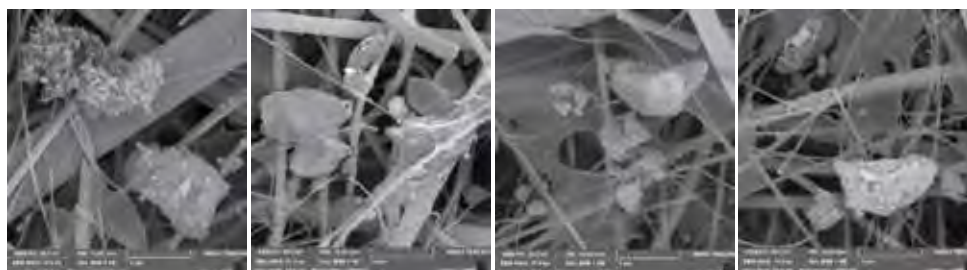


Figura 210 – Micrografias de amostras de PTS obtidas na estação Barra Longa Volta da Capela em período inicial de operação da estação.

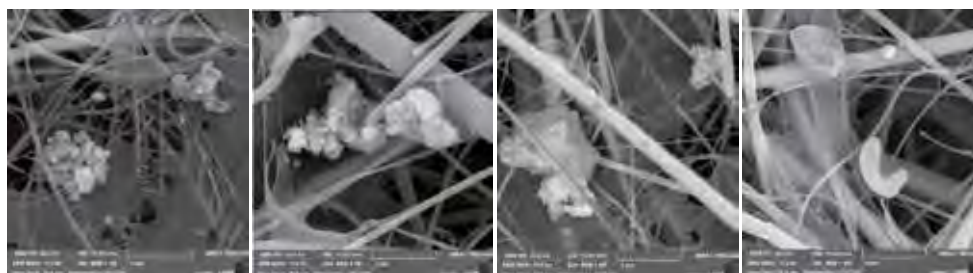


Figura 211 – Micrografias de amostras de PTS obtidas na estação Barra Longa Volta da Capela em período recente de operação da estação.

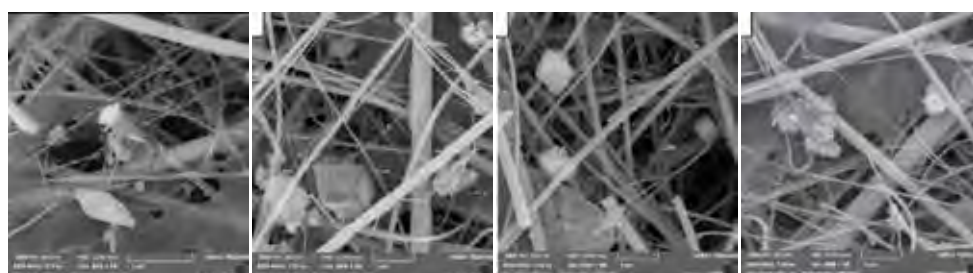


Figura 212 – Micrografias de amostras de PM₁₀ obtidas na estação Paracatu em período recente de operação da estação.

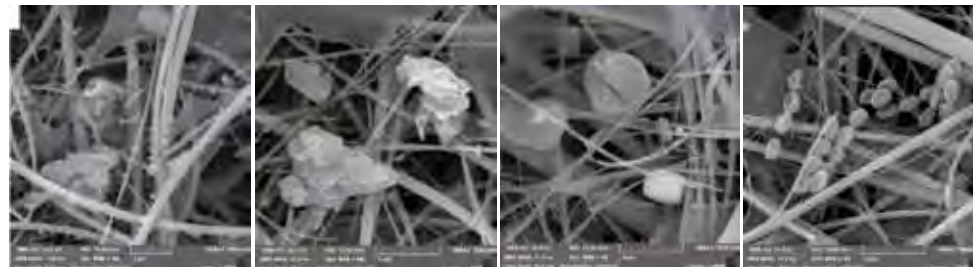


Figura 213 – Micrografias de amostras de PM₁₀ obtidas na estação Gesteira em período inicial de operação da estação.

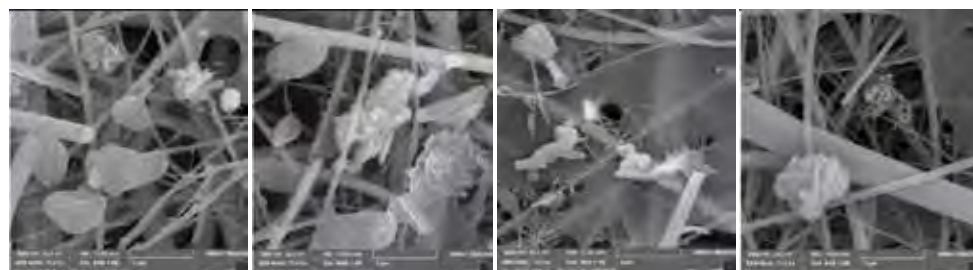
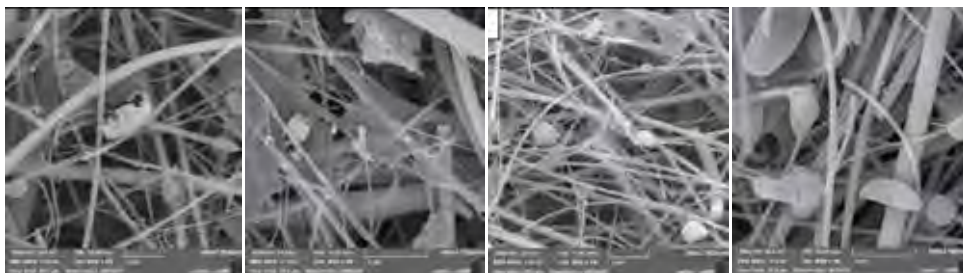


Figura 214 – Micrografias de amostras de PM_{10} obtidas na estação Gesteira em período recente de operação da estação.



Avaliando os elementos presentes nos espectros de composição química elementar das amostras analisadas, foram evidenciados a presença de elementos oriundos da composição da fita de papel filtro, elementos potencialmente tóxicos (EPTs) e outros elementos que podem estar vinculados a outras fontes de emissão.

Pela composição da fita de papel filtro ser fibra de vidro, foram evidenciados os elementos silício (Si), oxigênio (O) e carbono (C) em todas as análises.

Os EPTs presentes em pelo menos uma das amostras analisadas foram alumínio (Al), bário (Ba), cobre (Cu), ferro (Fe) e zinco (Zn). Os demais elementos identificados e aqui relatados foram sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), titânio (Ti), cloro (Cl) e enxofre (S). Os gráficos do tipo box-plot para cada um desses elementos, identificados nas diferentes frações de partículas em suspensão amostradas nas quatro estações de monitoramento da qualidade do ar avaliadas, estão representados nas Figura 215 a Figura 220.

Figura 215 – Gráfico do tipo boxplot com a variação da porcentagem dos elementos identificados nas amostras de partículas totais em suspensão, amostradas nas estações Barra Longa Centro (BLC) e Barra Longa Volta da Capela (BLVC), em dois períodos distintos de monitoramento, início e recente.

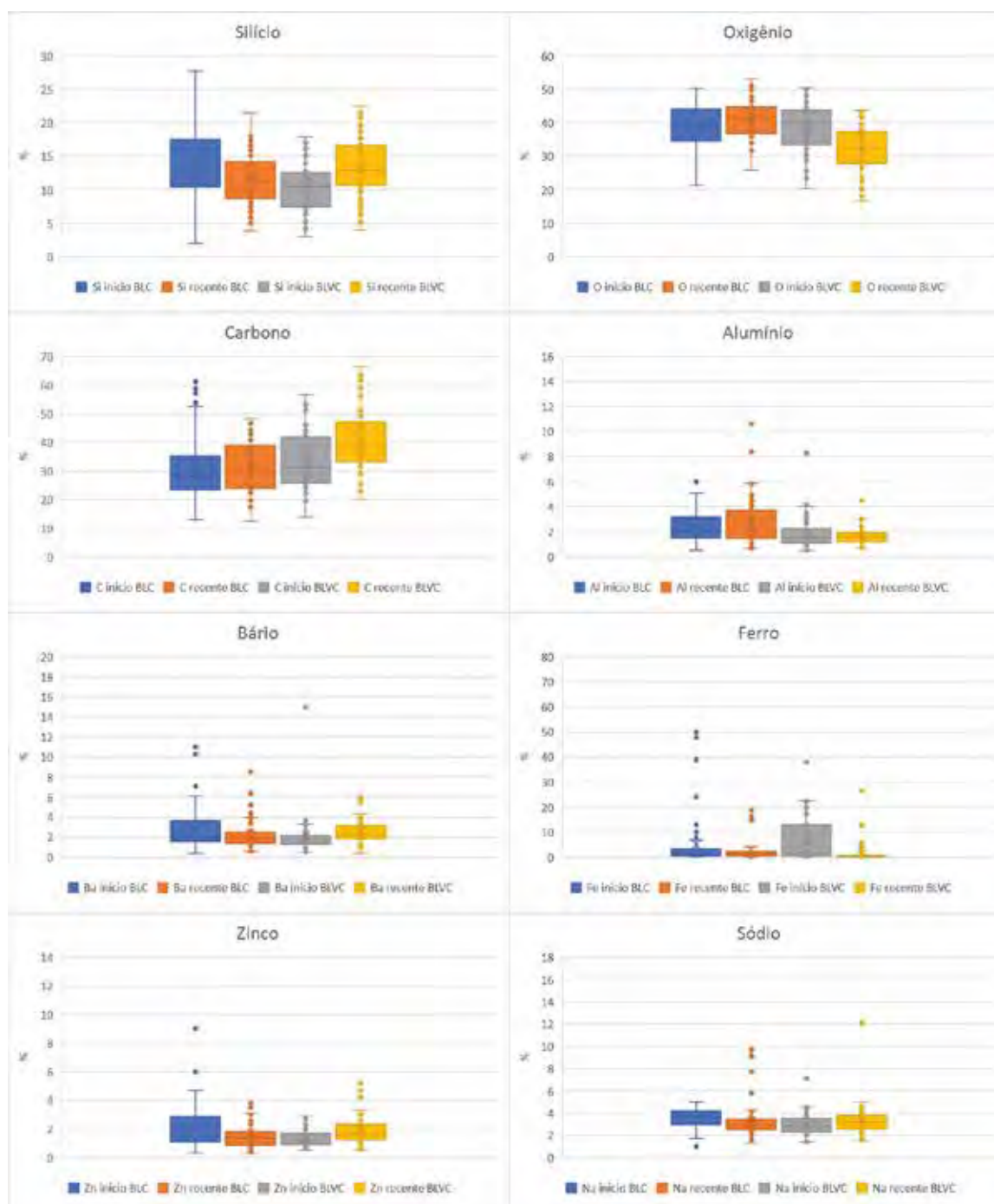


Figura 216 – Gráfico do tipo boxplot com a variação da porcentagem dos elementos identificados nas amostras de partículas totais em suspensão, amostradas nas estações Barra Longa Centro (BLC) e Barra Longa Volta da Capela (BLVC), em dois períodos distintos de monitoramento, início e recente.

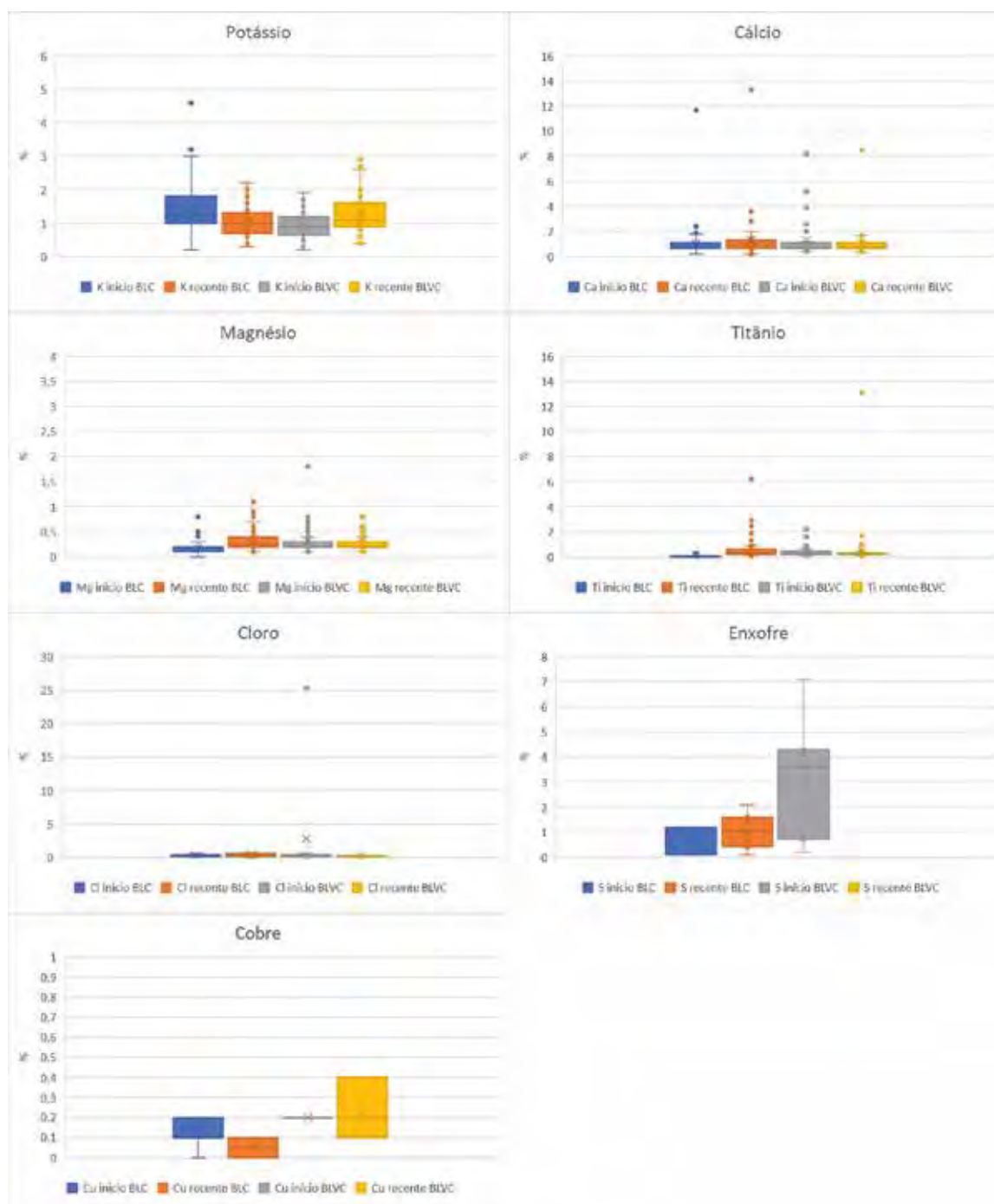


Figura 217 – Gráfico do tipo boxplot com a variação da porcentagem dos elementos identificados nas amostras de partículas inaláveis (PM_{10}), amostradas nas estações Barra Longa Centro (BLC), Barra Longa Volta da Capela (BLVC), Gesteira (GES) e Paracatu (PAR), em dois períodos distintos de monitoramento, início e recente.

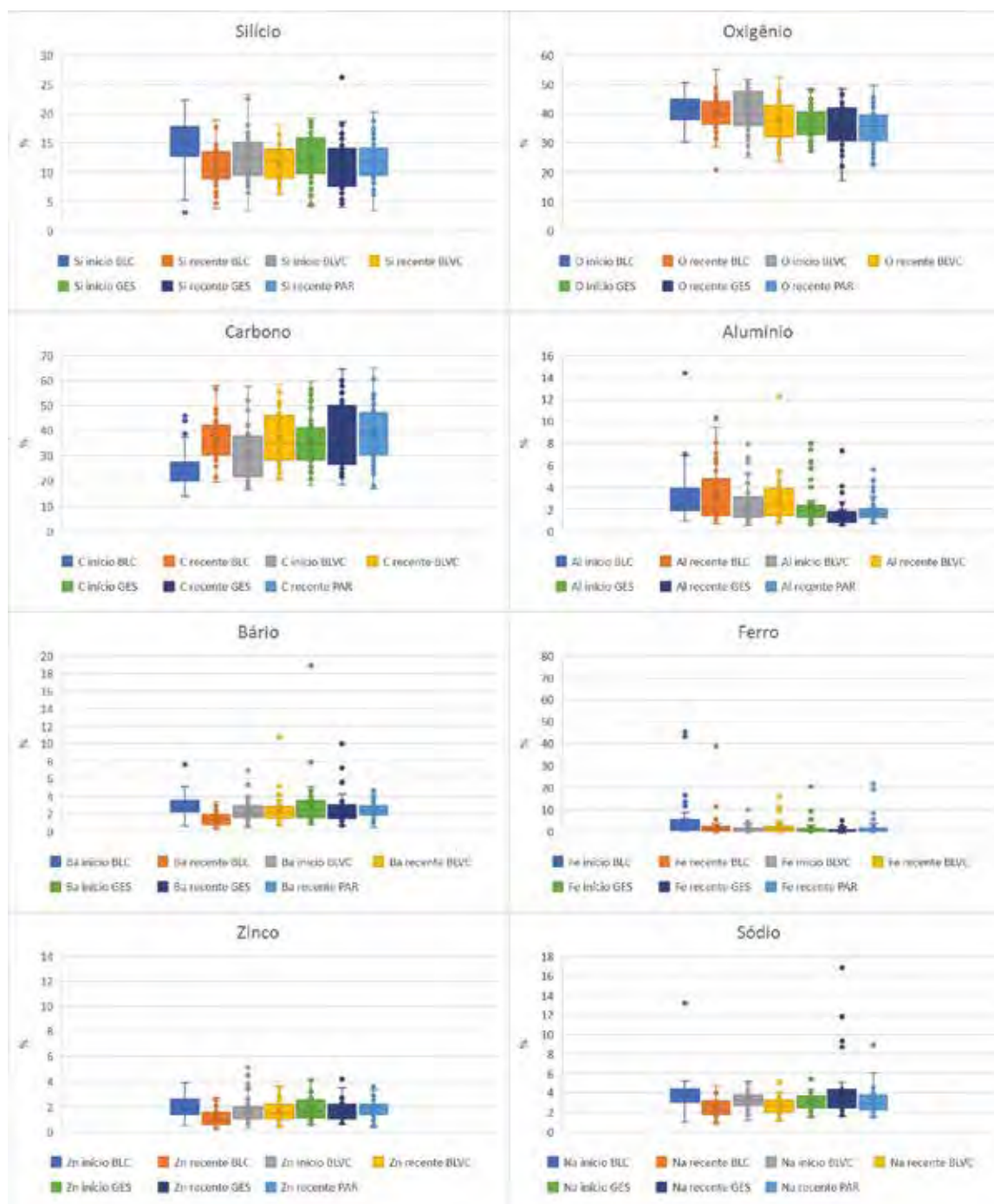


Figura 218 – Gráfico do tipo boxplot com a variação da porcentagem dos elementos identificados nas amostras de partículas inaláveis (PM_{10}), amostradas nas estações Barra Longa Centro (BLC), Barra Longa Volta da Capela (BLVC), Gesteira (GES) e Paracatu (PAR), em dois períodos distintos de monitoramento, início e recente.

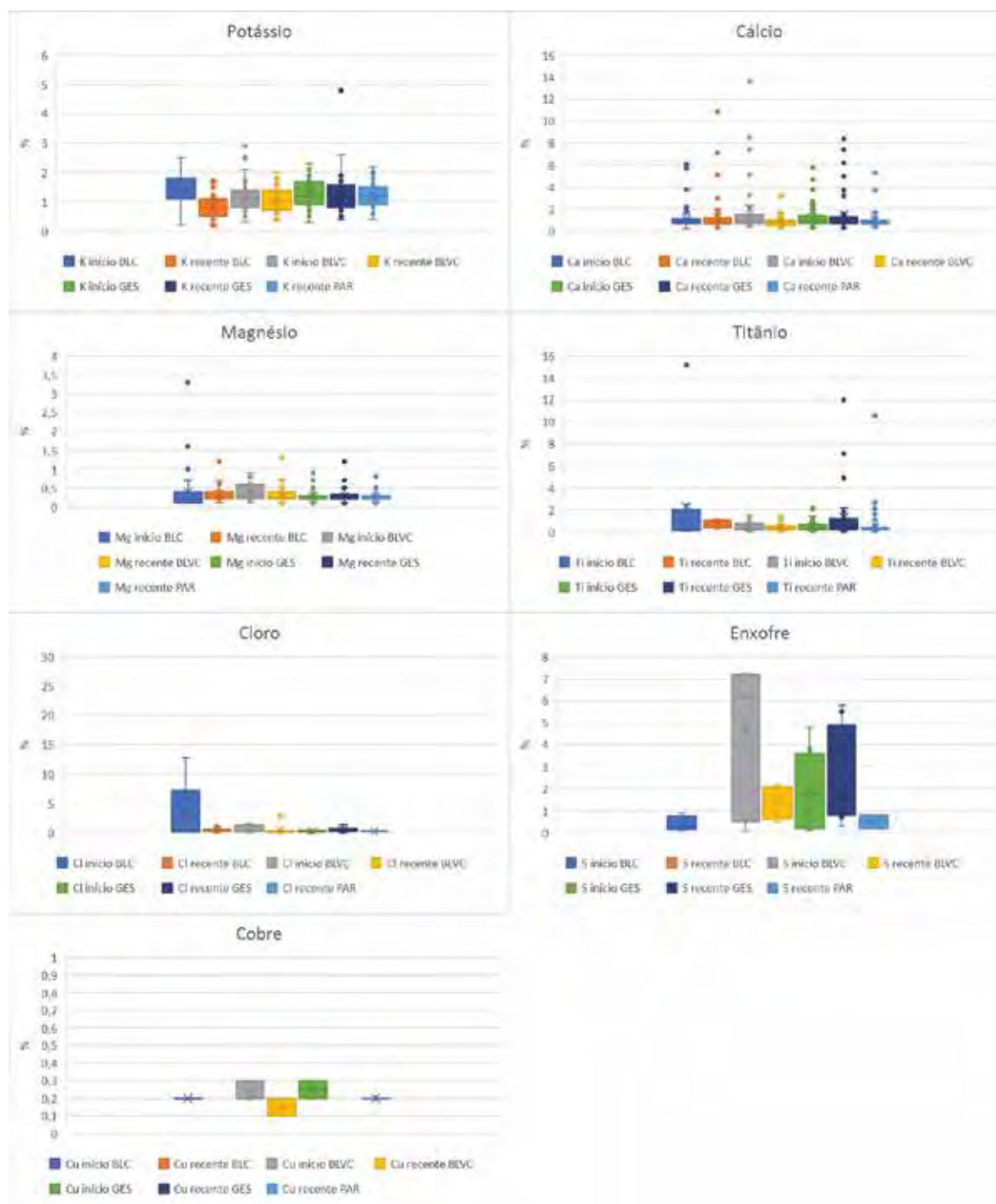


Figura 219 – Gráfico do tipo boxplot com a variação da porcentagem dos elementos identificados nas amostras de partículas respiráveis ($PM_{2,5}$), amostradas na estação Barra Longa Centro (BLC), em dois períodos distintos de monitoramento, início e recente.

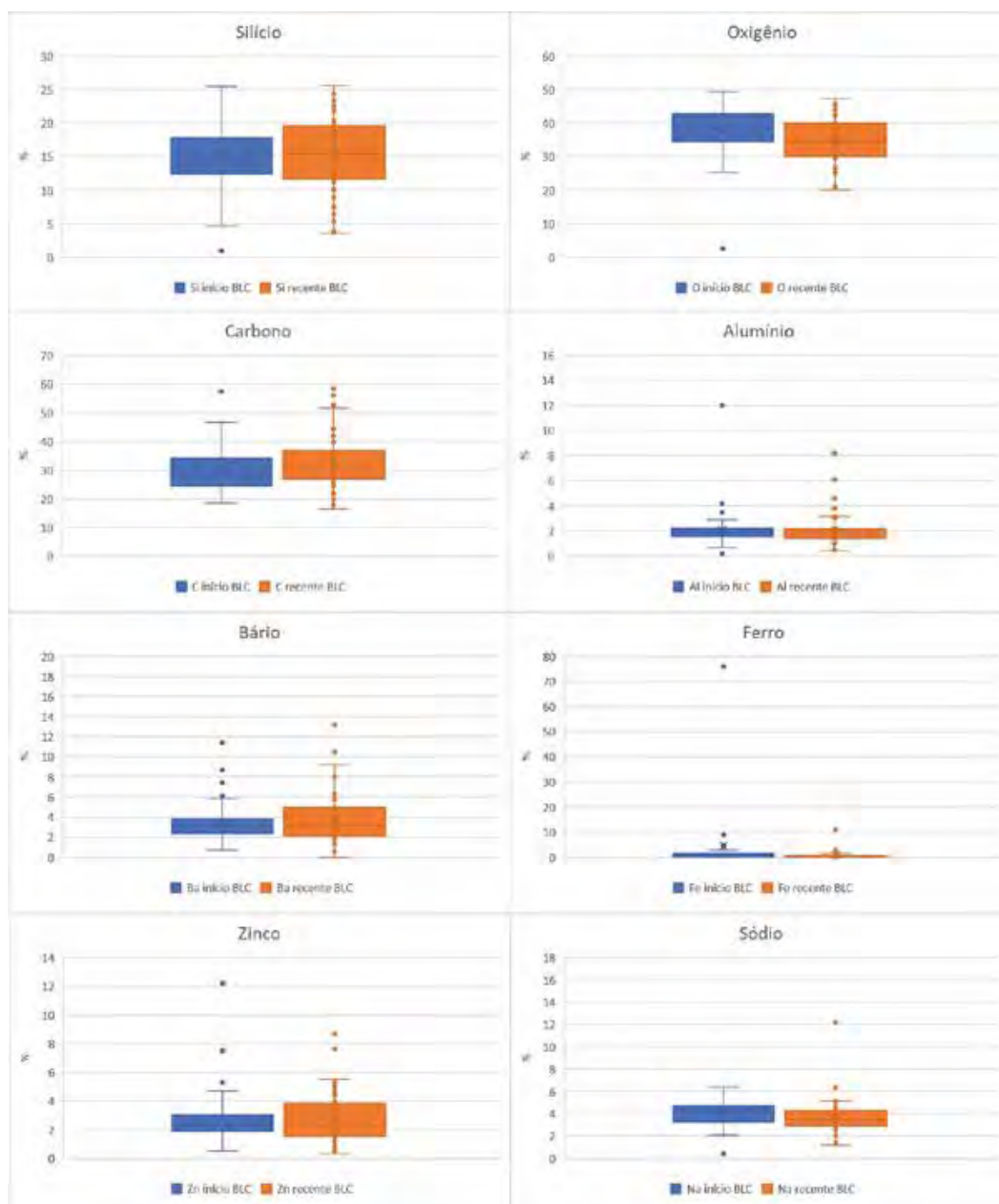


Figura 220 – Gráfico do tipo boxplot com a variação da porcentagem dos elementos identificados nas amostras de partículas respiráveis ($PM_{2,5}$), amostradas na estação Barra Longa Centro (BLC), em dois períodos distintos de monitoramento, início e recente.



De modo geral, os resultados obtidos para os elementos identificados pela análise semi-quantitativa da composição elementar por microscopia eletrônica de varredura com EDS, em amostras de partículas em suspensão, em suas frações total, respirável e inalável, depositadas nas amostras de fitas de papel filtro utilizadas nos amostradores automáticos contínuos, nas estações de monitoramento da qualidade do ar instaladas pela Fundação Renova em Barra Longa, Paracatu e Gesteira, indicam a presença no ar de elementos que naturalmente integram a composição do solo da região e também, de elementos característicos da composição do rejeito.

Como descrito no capítulo que descreve a caracterização do rejeito (TOMO I – Contextualização do Diagnóstico de Danos) (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020b), as amostras de rejeito de mineração barrado e depositado apresentaram composição química elementar prioritariamente a base de ferro, sendo verificados alumínio e manganês como elementos secundários, além de arsênio, cromo, cobre, chumbo, zinco, níquel, bário, cobalto, selênio e estanho.

Em amostras de rejeito depositado no compartimento 1, os mesmos elementos foram identificados (Al, Ba, Cu, Fe e Zn), dentre outros, porém não foram diagnosticados teores de elementos mais elevados dos que os que naturalmente ocorrem na região do Quadrilátero Ferrífero ou ainda aumento na labilidade desses elementos em decorrência da deposição do rejeito que represente risco ambiental (TOMO III – Documento suplementar do Diagnóstico de Danos) (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d).

Resultado semelhante foi descrito pela Fundação Renova para a análise de partículas totais em suspensão amostradas em Barra Longa e para amostras de rejeito e solo coletadas, avaliadas pela técnica de indução de raios x por partículas (PIXE) (ECOSOFT, 2017). Nas amostras de PTS, os elementos mais significativos foram Si, Fe, Al, Ca, K e S. Nas amostras de rejeito e solo, os elementos mais abundantes identificados foram Fe, Si e Al.

Importante ressaltar que a técnica utilizada para identificar os elementos presentes nas amostras analisadas, evidencia os elementos presentes em maior quantidade, o que não exclui a presença de outros elementos em menores porcentagens, os quais ficaram abaixo do limite de detecção do aparelho utilizado.

Outro ponto importante é a característica do Tecnosolo formado nas áreas atingidas, de ser mais susceptível a erosão, o que pode contribuir para a ressuspensão de partículas à atmosfera em função de estar mais exposto à ação do vento, especialmente nos períodos de seca na região, o qual se estende de abril a outubro (Figura 169).

As frações de partículas do tipo PM_{10} e $PM_{2,5}$ podem permanecer em suspensão na atmosfera por longos períodos de tempo. Estimasse que partículas com diâmetro inferior a 10 μm podem permanecer em suspensão por algumas horas, mas as partículas com diâmetro inferior a 2,5 μm podem permanecer por dias a semanas (LEELASAKULUM; KIM OANH, 2017). Desta forma, as partículas ficam disponíveis e quando inaladas, podem alcançar o sistema respiratório, por isso a importância do monitoramento contínuo em áreas com alterações e permanência de pessoas.

3.1.3 CONCLUSÕES

Considerando os resultados obtidos no ano de 2019, no que tange às questões ambientais, os mesmos foram comparados com os padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 03/1990 (BRASIL, 1990) e pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018). Não foram registradas violações aos padrões estabelecidos por ambas as resoluções para os parâmetros PTS, PM_{10} e $PM_{2,5}$.

No cenário em que os dados monitorados durante o ano de 2019 foram comparados com os padrões de qualidade do ar recomendados pela OMS em 2005, e definidos como padrões finais pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018), os quais não eram exigidos a nível nacional na ocasião do monitoramento, observa-se que, para a fração total de partículas em suspensão (PTS) não houve violações ao padrão de 240 $\mu g/m^3$ estabelecido para a média de 24 horas. Entretanto, para a fração de partículas inaláveis (PM_{10}), em comparação aos padrões da OMS, verifica-se que a estação Barra Longa Centro violou o padrão

em 12 vezes no ano de 2019, indicando uma tendência de aumento das concentrações registradas quando comparado ao número de violações nos anos de 2018 (1) e 2017 (3). Violações para as PM_{10} na estação Barra Longa Volta da Capela também foram observadas no ano de 2019 em relação ao valor estabelecido pela OMS (quatro violações). Na estação Paracatu, a qual não havia registrado violações ao valor estabelecido pela OMS durante o ano de 2018, no ano de 2019 foram verificadas 18 violações ao padrão de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A estação Santana do Deserto, que teve sua operação iniciada em abril de 2019, registrou uma violação ao padrão recomendado pela OMS para as PM_{10} . Assim, foi observada uma tendência de aumento das concentrações de PM_{10} em todas as estações de monitoramento quando comparado aos dados históricos, com destaque para a estação Paracatu.

Com relação às partículas respiráveis ($PM_{2,5}$), a qual é monitorada apenas na estação Barra Longa Centro, no ano de 2019 foram observadas duas violações ao padrão de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ estabelecidos pela OMS.

As condições de períodos de seca na região, em determinadas épocas do ano, contribuem para que as partículas permaneçam em suspensão no ar. O mês de setembro de 2019 foi o mais crítico na região, com precipitação 40% inferior ao registrado no mesmo período de 2016, o que refletiu no aumento das concentrações de partículas em suspensão na atmosfera das áreas monitoradas, principalmente em relação às PM_{10} , e na classificação da qualidade do ar como regular. Em 2019, os meses de abril e maio registraram acumulados de chuva acima do observado na série histórica, 197% e 226%, respectivamente.

Os resultados obtidos pela análise semi-quantitativa da composição elementar por microscopia eletrônica de varredura com EDS demonstram que o material particulado disponível no ar das regiões monitoradas pode conter em sua composição, partículas oriundas do Tecnossolo formado na região, o qual é composto pela mistura do rejeito depositado com o solo original. Porém, não é possível afirmar que as partículas suspensas no ar são provenientes apenas do rejeito, uma vez que os elementos detectados estão presentes tanto na matriz do rejeito quanto em matrizes naturais não impactadas pelo desastre. Importante destacar que uma das características observadas no Tecnossolo formado é o aumento do potencial erosivo, o que pode contribuir para o aumento da disponibilidade de partículas em suspensão no ar ambiente quando este solo é exposto à ação dos ventos pela ausência de cobertura vegetal ou por revolvimento, principalmente nas épocas de seca na região.

3.1.4 CENÁRIO DE DANOS

Os danos à atmosfera estão majoritariamente relacionados à ressuspensão de material particulado advindo do rejeito depositado. Assim, apenas um dano foi considerado, denominado alteração da qualidade do ar. Este é um dano considerado reversível, pois, como observado pela série histórica, há uma tendência de redução das concentrações de partículas em suspensão ao longo do tempo, principalmente quando as partículas oriundas do próprio solo da região e do Tecnossolo formado, em decorrência da deposição de rejeito, não estão sujeitas à ação do vento, ou seja, estão recobertas por alguma espécie vegetal, por exemplo.

Um fator importante a ser considerado no acompanhamento deste dano é a característica que o rejeito depositado possui de ser um material altamente erodível, o que, em períodos de seca na região, pode contribuir para o aumento da concentração de partículas em suspensão.

Em função das condições meteorológicas, as quais mudam de um ano para outro, é esperado que a qualidade do ar oscile, como a própria série histórica já demonstra, porém não nos níveis registrados em 2016, logo após o desastre.

4 RECOMENDAÇÕES DE AÇÕES DE RECUPERAÇÃO

A realização do Diagnóstico Socioambiental dos Danos Decorrentes do Rompimento da Barragem de Fundão na Bacia do Rio Doce e Região Costeira Adjacente permitiu ao Lactec ter conhecimento efetivo sobre os danos que impactaram o ambiente terrestre e a atmosfera. Com base nisto, neste capítulo estão elencadas ações que foram consideradas como relevantes para a tomada de decisões e que visam auxiliar nos processos para recuperação e compensação dos danos avaliados.

Importante destacar que as ações aqui apresentadas precisam ser detalhadas e complementadas, incluindo, sempre que necessário, as recomendações dos diversos atores envolvidos em sua implementação, mas principalmente considerando os anseios das comunidades locais. Além disso, as Unidades de Conservação são importantes interlocutores para os programas propostos, tendo em vista a necessidade de compatibilidade com seus planos de manejo e a possibilidade de potencializar diversas ações já desenvolvidas pelas Unidades.

4.1 AÇÕES DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA DOS AMBIENTES DANIFICADOS PELO DESASTRE

O principal componente afetado no ambiente terrestre foi, sem dúvidas, o hábitat florestal. A restauração desse componente se mostra, portanto, como alternativa imperativa para a recuperação da vegetação nativa, e influencia diretamente na recuperação do solo, da fauna, da água e da atmosfera. Mesmo os danos relativos aos ambientes fluvial e marinho serão beneficiados pela restauração ecológica do ambiente terrestre, pois permitirá o menor carreamento de partículas para o corpo hídrico e, conseqüentemente, em direção ao oceano.

A restauração florestal possui como principais objetivos resgatar a biodiversidade, as funções ecológicas e a sustentabilidade de determinadas áreas, reestabelecendo seus processos naturais. O retorno de uma floresta a condições anteriores à sua perturbação ou próximo disso é um processo lento, e em muitas vezes é necessário criar condições para que este retorno aconteça em médio ou longo prazo (MARTINS, 2020). Importantes estudos desenvolvidos no bioma Mata Atlântica demonstraram diferentes tempos de recuperação para diversos indicadores da floresta, tanto em áreas recuperadas através do processo de regeneração natural (LIEBSCH et al., 2008) quanto para áreas que receberam algum tipo de ação de restauração (SUGANUMA e DURIGAN, 2015; LONDE et al., 2020). Dentre outros objetivos, os projetos de restauração florestal deverão garantir a proteção das florestas, envolver as partes interessadas, maximizar a recuperação da biodiversidade, favorecer a regeneração natural quando possível, empregar material genético de boa procedência e variabilidade e garantir a sustentabilidade econômica do projeto. Para isso, é importante ressaltar o desenvolvimento das principais macroetapas; o diagnóstico, a implantação e o monitoramento.

O diagnóstico da área é primordial para selecionar as ações mais adequadas e determinar qual o conjunto de metodologias deverá ser aplicado em cada situação, a fim de atingir os objetivos principais da restauração (NAVE et al., 2015). Conhecimentos sobre vegetação natural e uso do solo na região, obtidos a partir de pesquisa, observações de campo e ferramentas cartográficas são dados básicos para projetos de restauração florestal em áreas degradadas, sendo importante uma análise estrutural

das formações florestais que considere fatores físicos e estágios sucessionais em que se encontram os fragmentos (BARBOSA, 2009). Os aspectos da vegetação envolvidos nesta etapa relacionam-se à caracterização das fitofisionomias, estrutura da paisagem e estágios de conservação dos remanescentes florestais das áreas de interesse. Especificamente quanto aos detalhes desta avaliação, investigações em campo, inventários florestais, levantamentos florísticos e fitossociológicos deverão ser utilizados para identificar a presença de espécies invasoras e fontes naturais de propágulos de plantas nativas. Neri et al. (2011) classifica como ponto crucial para o início dos processos de restauração a correta escolha das espécies a serem utilizadas, de acordo com o ambiente. Em adição, o conhecimento de aspectos socioeconômicos como presença de viveiros, produtores de mudas e coletores de sementes, bem como possíveis conflitos em relação às ações de restauração são informações importantes para projetos de grande porte.

O primeiro passo para o início das atividades de restauração é a identificação e remoção de fatores que possam interferir ou causar degradação da área, como presença de gado, focos de incêndio, trânsito de maquinários, caça, desmatamento, deriva de herbicidas, entre outros. A existência destes fatores pode atrapalhar o processo de restauração e gerar desperdício de tempo e recursos (NAVE et al., 2015). A presença de espécies competidoras também é um elemento nocivo para as atividades de restauração. Espécies agressivas de gramíneas, trepadeiras e bambus podem competir vigorosamente com as espécies de estratos superiores, prejudicando o avanço sucessional destas (RODRIGUES; GANDOLFI, 2009). Neste caso, a demarcação destas e posterior implantação de cercas e aceiros, além da retirada de espécies exóticas e competidoras são ações necessárias para garantir a eficiência desta fase.

A metodologia aplicada nesta etapa dependerá dos resultados do diagnóstico para cada local estudado, de acordo com as condições e degradação e recuperação (resiliência) verificadas. A partir de então, deverá ser selecionada alguma das estratégias consagradas. Outras estratégias poderão ser abordadas de acordo com as condições encontradas em campo. É importante observar que, para qualquer das estratégias selecionada, os tratos silviculturais também deverão ser incluídos, como replantio de mudas mortas, controle de formigas, controle de competição, adubação e irrigação.

Dentre as estratégias da restauração florestal, citam-se: a) Condução da Regeneração Natural: consiste na adoção de métodos biológicos, mecânicos e químicos para eliminar ou controlar o desenvolvimento de espécies vegetais indesejadas e favorecer o desenvolvimento de espécies de interesse na restauração. Este procedimento aproveita indivíduos já existentes na área a ser restaurada e acelera o estabelecimento dos processos ecológicos (NAVE et al., 2015). Alvarenga et al. (2006) consideram a condução da regeneração natural como um dos métodos mais promissores devido aos aspectos ecológicos, silviculturais e financeiros, visto que este é um dos procedimentos mais econômicos para recuperar áreas degradadas; b) Adensamento e Enriquecimento: o adensamento se refere à ação de introduzir no local mudas de espécies já encontradas ali, porém com densidade menor do que o esperado (RODRIGUES; GANDOLFI, 1996). Já o enriquecimento consiste na introdução de espécies que ainda não estão presentes na área, mas que são de significativa importância para a sucessão. Os mesmos autores ainda colocam que estes métodos são empregados em áreas intermediárias de perturbação, cuja degradação foi causada por fatores antrópicos diversos e que ainda conservam algumas das suas características originais. Normalmente estes locais apresentam-se ocupados por capoeiras e espécies

em estágios iniciais de sucessão. Nestes sistemas são introduzidas espécies secundárias ou clímax sob a estrutura que já ocupa a área. O plantio de enriquecimento possui como vantagem o aproveitamento da regeneração natural local. Devido à presença de vegetação, o espaçamento utilizado tende a ser mais amplo, mas é necessário que sejam observadas as condições locais antes da implantação (NBL; THE NATURE CONSERVANCY, 2013). Já em atividades de adensamento, Rodrigues et al. (2009) consideram a utilização de espaçamentos menores. Nas áreas restauradas com o objetivo de conservação de biodiversidade, deve-se utilizar o maior número possível de espécies, a fim de proteger, aumentar e perpetuar a biodiversidade local (NAVE et al., 2015); c) Plantio Total: Esta estratégia normalmente é selecionada quando a capacidade de resiliência do ambiente é baixa. Os plantios devem ser feitos prioritariamente em áreas onde a regeneração não ocorre naturalmente, ou ocorre muito lentamente. Em ambos os casos, os plantios têm a função de acelerar o processo de sucessão secundária, ou mesmo propiciar condições para que ele ocorra (MORAES et al., 2013). Dentro deste contexto, podem ser selecionadas ou mesmo mescladas diversas formas de plantio, como a formação de ilhas de diversidade (nucleação) e a utilização de espécies pioneiras e plantios em linhas alternadas. Kageyama e Gandara (2000) sugerem a instalação de ilhas de diversidade em modelo misto, com a utilização de espécies pioneiras e não pioneiras. Para os plantios em área total, conforme sugerido por Moraes et al. (2013) uma muda de espécie secundária tardia é rodeada por mudas de espécies secundárias iniciais, que vão “tutorar” o crescimento da primeira, enquanto uma muda de espécie clímax, cujo desenvolvimento se dá completamente em condições de sombreamento, é rodeada por mudas de pioneiras.

Por fim, o monitoramento é etapa primordial e visa acompanhar a evolução e medir o sucesso dos plantios na restauração de áreas degradadas. Deve ser realizado com base nas funções dos plantios em garantir o crescimento das mudas e acelerar o processo de sucessão (MORAES et al., 2013). Além disso, os resultados do monitoramento permitem uma adequada avaliação dos métodos de restauração usados, permitindo que os restauradores definam para sua região de atuação, os métodos de maior eficiência para cada situação de degradação, aumentando assim suas chances de sucesso (VIANI et al., 2013). O monitoramento e a manutenção deverão utilizar indicadores que atestem a correta percepção do progresso das ações implementadas.

De forma conclusiva, ao final do processo de restauração florestal, é fundamental que a floresta possa fornecer os serviços ambientais e ecossistêmicos que dela são esperados, dentre eles o sequestro do carbono atmosférico, a manutenção do ciclo hidrológico (garantindo produção de água com qualidade), prevenção contra erosão e desastres, conservação das espécies nativas da flora, fornecimento de abrigo e alimento para a fauna e o fornecimento de produtos florestais madeireiros e não madeireiros.

A maior parte das alterações identificadas sobre os grupos da fauna estão relacionadas à perda da qualidade ambiental do habitat florestal. Nesse sentido, a ação mais direta para aprimoramento desse atributo em direção às condições pré-desastre também está intimamente relacionada à restauração florestal, por meio das estratégias de recuperação mencionadas anteriormente. No entanto, conforme apontado em algumas das avaliações ora levadas a efeito, esta restauração não deve estar centralizada apenas na APDL – se o objetivo for melhorar as condições da fauna. Além da recuperação das áreas florestais que foram adulteradas pelo desastre, diversos outros setores geográficos também

devem ser convertidos em mata nativa, de modo a melhorar a conectividade e a configuração da paisagem em benefício à biodiversidade. Assim, além da cobertura florestal em si, também devem ser alvo de ações de recuperação métricas como tamanho dos fragmentos restaurados e conexão física dos ambientes florestados da região. O uso de técnicas de restauração que envolvam dispersores naturais deve ser fomentado, uma vez que estas vias de dispersão podem subsidiar maior heterogeneidade ambiental em áreas restauradas.

Um aspecto particularmente preocupante para orientar as futuras medidas de recuperação refere-se à previsão de que, nos moldes atuais, as ações planejadas pela Fundação Renova somadas a um processo teórico de regeneração natural de toda a paisagem, não são eficientes na reversão dos danos à fauna, incapazes de recuperar totalmente o dano sofrido. Este fenômeno foi revelado pelas modelagens das espécies de plantas estudadas, que são de formações florestais maduras. Estes resultados apontam que as medidas tomadas pela Fundação Renova, que dão ênfase ao aumento de área dos fragmentos, mas não as funcionalidades da paisagem, da qualidade dos habitats e da heterogeneidade desses fragmentos; são insuficientes para recuperar os processos ecológicos e serviços ecossistêmicos perdidos no Compartimento 1, minimamente aqueles mais dependentes da diversidade biológica.

Também com relação aos solos, a restauração da vegetação se mostra ação fundamental para a reversão dos danos considerados parcialmente reversíveis. A recuperação dos solos afetados fundamenta-se, principalmente, no incremento e manutenção de seus níveis de matéria orgânica. Devido aos baixos teores de carbono orgânico do rejeito, têm-se baixa resiliência e alta fragilidade a processos erosivos, assim como ao suporte do crescimento e desenvolvimento vegetal. Com relação à erodibilidade, a matéria orgânica tem ação cimentante, unindo partículas e promovendo a estruturação e estabilização do rejeito no ambiente. Adicionalmente, raízes de plantas atuam formando redes entre estes agregados, o que resulta na formação de macroagregados que fornecem melhor drenagem da água livre para o nível freático. Dessa maneira, a manutenção constante de vegetação sobre o rejeito permitirá que essa matriz se torne menos suscetível a perdas de partículas via erosão hídrica. Também do ponto de vista biológico, a matéria orgânica é fundamental ao promover a estruturação do rejeito, uma vez que os agregados são responsáveis pelas funções de trocas gasosas, retenção de água, desenvolvimento do sistema radicular de plantas, diminuição do potencial erosivo, entre outras. Estas funções subsidiam a recuperação do ambiente edáfico de forma geral. Nesse caso, o material orgânico auxiliará, ainda, no desenvolvimento e expressão de cargas negativas no rejeito (CTC), que são responsáveis por tamponar o nível de nutrientes das plantas, além de reter e filtrar contaminantes. Devido à predominância de cargas positivas nesse material, a manutenção do carbono no rejeito é imprescindível para retomar as características químicas desejáveis para a provisão das funções do solo.

Dessa maneira, recomenda-se que o aporte de matéria orgânica seja uma estratégia prioritária para reverter os danos ocorridos no solo. Destaca-se que, dentre as ações para o atingimento dessa estratégia, a manutenção constante de cobertura vegetal sobre os Tecno solos formados é uma das mais importantes. Recomenda-se a manutenção da cobertura do solo tanto por espécies de ciclo curto, que introduzem carbono e nitrogênio ao sistema de forma rápida, além de fornecer proteção mecânica e outros benefícios estruturais ao solo, mas, especialmente, por espécies nativas da Mata Atlântica, que irão manter as funções ecológicas do solo em equilíbrio. Adicionalmente, o incremento de matéria

orgânica aos solos de áreas que não apresentam o componente florestal pode ser obido por meio da adição de resíduos agropecuários ao rejeito de forma contínua ao longo do tempo, como o esterco bovino, recurso abundante na região. Recomenda-se, assim, que se avaliem as estratégias de manejo para a aplicação do esterco que forneçam resultados mais eficientes para reversão do dano. Além disso, é importante que seja impedido o pastejo nas várzeas afetadas pelo desastre, atividade também comum na região. Para isso, as áreas da APDL em recuperação devem ser isoladas com uso de cercas – preferencialmente de arames lisos – impedindo o acesso de animais domésticos, principalmente bubalinos, bovinos e equinos.

Esta ação está diretamente vinculada com o eixo temático: terra e água dentro dos Programas 25: Revegetação, enrocamentos e outros métodos; 26: Programa de recuperação de áreas de preservação permanente (APPs) e recargas hídricas – este com atrasos significativos no andamento do projeto (RAMBOLL, 2021); 27: Programa de recuperação de nascentes; 28: Conservação da biodiversidade aquática – ações que ainda não realizaram nenhum manejo prático, ainda na etapa de planejamento; 30: Conservação da fauna e flora terrestre – similarmente ao anterior, programa que não iniciou a execução do Plano de Ação; 39: Consolidação de unidades de conservação – programa em estágio muito incipiente, sem ter finalizado a etapa de estudo dos danos.

4.2 AÇÕES DE APOIO À GESTÃO DE ÁREAS PROTEGIDAS

Um dos principais limitantes à determinação de ações benéficas em unidades de conservação (UCs) refere-se à situação fundiária irregular da maior parte destas áreas. Esta situação é bastante comum nos parques nacionais e estaduais e pode gerar conflitos, e ainda mais insegurança, quando da adoção de medidas que envolvam manejo das áreas. A regularização é normalmente tratada quando da efetivação dos Planos de Manejo das UCs, sendo que apenas quatro das treze UCs afetadas pelo desastre possuem esse documento (APA Municipal Córrego Novo, APA Municipal Pingo-d'Água, PE do Rio Doce e PNM de Governador Valadares). Mesmo com este documento disponível, todos encontram-se defasados, a exemplo do Plano de Manejo do Parque Estadual do Rio Doce, elaborado em 2002, constituindo outra limitação na aplicação de medidas reparadoras, uma vez que as informações e previsões contidas nesse plano não se referem à situação atual das respectivas UCs. Assim, uma medida que pode ser levada a efeito no âmbito da reparação aos danos em UCs envolve a elaboração e revisão dos Planos de Manejo das unidades afetadas pelo desastre. Recomenda-se, entretanto, que sejam adotados os princípios da metodologia atualmente empregada pelo ICMBio, conforme IN nº 07, de 21 de dezembro de 2017. Deve-se buscar o aumento da capacidade de gestão e implementação das UCs, a partir de processos objetivos, céleres, padronizados e menos dispendiosos, além de integrados à realidade da unidade e sua capacidade operacional.

Além disso, a degradação da qualidade ambiental provocada pela onda de lama sobre as unidades de conservação e outras áreas naturais protegidas ocasionou danos ambientais gravíssimos, justificando a adoção de medidas de mitigação e recuperação. Em alguns casos, os danos são considerados irreversíveis, levando à necessidade de compensação ambiental (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d). Contudo, a variedade de tipos de áreas naturais protegidas afetadas exige uma avaliação mais

cuidadosa do regime jurídico aplicado a cada uma delas, de forma que as reparações propostas sejam efetivas, proporcionais a cada categoria e com base na legislação vigente.

As Áreas de Proteção Especial (APEs) não pertencem às categorias previstas na Lei nº 9.985/2000, tendo sido criadas anteriormente a esse instrumento. Nesse sentido, existem conflitos e insegurança jurídica relacionadas às regras que regem a forma de proteção dessas áreas e, por consequência, quais devem ser as medidas mais adequadas para reparar o dano provocado. Neste sentido, recomenda-se que as APE (Ouro Preto / Mariana e Pico do Ibituruna) sejam reavaliadas e categorizadas em consonância com as definições do SNUC para posterior definição da aplicabilidade de reparação do dano. Além desta regularização, considerando a identificação de danos irreparáveis do desastre sobre as APEs, pode-se sugerir a conversão de benefícios compensatórios como a criação e regularização de Unidades de Conservação da região, assim como outros benefícios a estas UCs, particularmente àquelas que estejam inseridas nos limites às APEs.

Dificuldade semelhante se observa para a proposição de medidas de reparação nas área da Reserva da Biosfera (RB) da Serra do Espinhaço e RB da Mata Atlântica. Como modelos de gestão integrada, participativa e sustentável dos recursos naturais (ANDRADE et al., 2015), cada qual é gerida por um conselho deliberativo próprio, formado por representantes de instituições públicas, de organizações da sociedade civil e da população residente. Nesse sentido, é cabível considerar a realização de medidas de reparação e/ou compensação, em comum acordo com os respectivos conselhos.

No caso das Unidades de Conservação outros elementos podem ser considerados. O tipo de UC (de proteção integral ou de uso sustentável), mas principalmente, as formas de uso (indireto e direto, conceituados na Lei nº 9.985/2000 (BRASIL, 2000)), também podem afetar a definição de medidas de reparação. Uma vez que no caso das UCs de proteção integral admite-se apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, a totalidade dos danos incidentes sobre estas áreas fere seus princípios e valores fundamentais, tendo legalmente respaldada a necessidade de reparação dos mesmos. A partir deste argumento legal, a reparação das UCs afetadas pelo desastre, especialmente aquelas de proteção integral, devem receber tratamento específico e mais exigente, em comparação às UCs do grupo de uso sustentável que também foram afetadas, e também devem ser contempladas pela reparação dos danos. O dano provocado em UC de proteção integral é um agravante importante, previsto na legislação vigente e, portanto, requer aplicação proporcional. Diferentemente das UCs de proteção integral, no caso das UCs de uso sustentável, Corrêa & Abreu (2014) sugerem que a regra de transmissão de dano causado a elementos materiais não se aplica automaticamente, porque tanto a antropização do espaço, quanto a conservação dos recursos naturais são previstas no âmbito desta categoria de UC. Contudo, a dimensão do evento que provocou alterações que extrapolam os parâmetros aceitáveis exige avaliação cuidadosa do regime jurídico aplicado a cada UC de uso sustentável afetada pelo desastre.

Há de se destacar a situação do Parque Estadual do Rio Doce neste contexto. Trata-se de uma UC de proteção integral que possui Plano de Manejo aprovado, e que teve 304,02 ha de sua área afetada pelo desastre, além de ser uma das áreas núcleo da RB da Mata Atlântica, e é reconhecido como Sítio Ramsar. A sobreposição de diferentes dispositivos agravantes deve ser considerada e aplicada caso a caso, conforme alguns exemplos descritos a seguir.

Os danos diagnosticados aos sistemas ambientais (p.ex., perda de hábitat florestal, alterações da composição de espécies, criação de Tecnossolo, alterações na superfície, entre outros) configuram-se agravados ao atingirem áreas legalmente protegidas – dado que aquelas regiões geográficas estão explicitamente subordinadas à proteção por parte do Estado em benefício da sociedade. Neste sentido, é razoável que as medidas de recuperação dos ambientes suprimidos pelo desastre ou que tiveram degradação da qualidade ambiental, e inseridos nas áreas naturais protegidas, recebam atenção particular. Sugere-se que a reparação dos danos, quando aplicável, pode-se envolver a recuperação do dobro da área afetada quando dentro de UC de proteção integral, ou outro parâmetro que já tenha sido utilizado no âmbito jurídico e que possa servir de referência para estes casos.

Outra medida importante que pode auxiliar no alcance dos objetivos de conservação para os quais cada UC foi criada, além de permitir o incremento do seu grau de conservação, de sustentabilidade e eficiência gerencial, é a definição e padronização de um instrumento de acompanhamento da gestão das UCs afetadas, considerando as etapas de planejamento, execução, avaliação e monitoramento. O desenvolvimento ou adaptação de uma ferramenta deste tipo demanda recursos financeiros e outros aportes (pessoal, materiais, entre outros) fundamentais para que seja possível acompanhar a evolução das medidas reparadoras adotadas, bem como a efetividade de gestão das UCs, em especial aquelas afetadas pelo desastre.

Esta ação está diretamente vinculada com o eixo temático: terra e água dentro dos Programas 25: Revegetação, enrocamentos e outros métodos; 26: Programa de recuperação de áreas de preservação permanente (APPs) e recargas hídricas – este com atrasos significativos no andamento do projeto (RAMBOLL, 2021); 27: Programa de recuperação de nascentes; 28: Conservação da biodiversidade aquática – ações que ainda não realizaram nenhum manejo prático, ainda na etapa de planejamento; 30: Conservação da fauna e flora terrestre – similarmente ao anterior, programa que não iniciou a execução do Plano de Ação; 39: Consolidação de unidades de conservação – programa em estágio muito incipiente, sem ter finalizado a etapa de estudo dos danos.

4.3 AÇÕES DE COMPLEMENTAÇÃO DE NUTRIENTES NO SOLO

Para auxiliar no desenvolvimento das plantas que irão colonizar o rejeito e promover o incremento e a ciclagem de carbono e nitrogênio, a reposição de nutrientes limitantes ao desenvolvimento vegetal (Mg, K, Zn e Cu, identificados em teores muito baixos em todas as várzeas da bacia) é fundamental, por meio da adição de fertilizantes industriais. Além disso, o esterco de animais que recebem suplementação de sal mineral, além de apresentar quantidade significativa de micronutrientes, apresenta teores relativamente elevados de Zn e Cu, e pode ser também utilizado para essa finalidade. Ademais, esta fonte de recursos gera micronutrientes que permanecem por longo tempo no ambiente, suprimindo o crescimento das plantas.

No que diz respeito aos macronutrientes, a aplicação de fósforo na forma de fosfatos solúveis e esterco de animais que recebem suplementação de sais minerais, também é uma excelente alternativa. Assim, como para Zn e Cu, o P aplicado tem elevado efeito residual e sua correção é fácil, principalmente pelo baixo teor de argila dos Tecnossolos, embora formados por óxidos (hematita). Em relação especificamente ao Mg, esse deve ser adicionado, por exemplo, na forma de termofosfatos magnesianos, adição

esta que também contribui para aumentar os níveis de P, elemento facilitador do crescimento de plantas e ao aporte de matéria orgânica. A adubação potássica deve ser realizada, mas de forma parcelada e em doses pequenas afim de evitar perdas devido à baixa CTC do rejeito. Novamente, a manutenção da planta em constante crescimento é a chave para a manutenção de K no rejeito depositado, dado à elevada ciclagem do mesmo, como ocorre em condições naturais. Por fim, a calagem não deve ser realizada nas áreas com deposição de rejeito no Compartimento 1, haja vista o pH elevado desse material.

É importante destacar, ainda, que solos de várzeas de fertilidade construída (em propriedades agropecuárias de médio a alto nível tecnológico) que foram afetados pelo desastre recebam especial enfoque para essa medida de recuperação, haja vista que o diagnóstico de danos ambientais ao solo não levou em consideração as especificidades individuais dos estabelecimentos agrícolas (tendo sido realizada uma avaliação da matriz solo como componente ambiental), embora tenham sido registrados relatos de prejuízos pelos agricultores atingidos.

Esta ação está diretamente vinculada com o eixo temático: terra e água dentro dos Programas 25: Revegetação, enrocamentos e outros métodos; 26: Programa de recuperação de áreas de preservação permanente (APPs) e recargas hídricas – este com atrasos significativos no andamento do projeto (RAMBOLL, 2021); 27: Programa de recuperação de nascentes; e Programas 17/40 - Retomada das atividades agropecuárias e fomento ao CAR e PRA.

4.4 AÇÕES DE GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

O manejo de resíduos sólidos é uma problemática recorrente e complexa no Brasil como um todo, principalmente no que se refere à disposição do material em áreas adequadas. O desastre agravou este problema na região afetada, gerando a necessidade de destinar enormes quantidades de resíduos em diferentes setores, sejam elas em áreas já afetadas pelo rejeito, sejam em novas áreas destinadas a se tornarem aterros. Destaca-se, ainda, que os resíduos não são unicamente provenientes do desastre, mas também devido às ações emergenciais executadas ao longo do Compartimento 1.

Dessa forma, o manejo desses resíduos requer que estas áreas sejam isoladas e sujeitas a monitoramentos hidrogeológicos periódicos, uma vez que o intemperismo pode levar à percolação de contaminantes presentes no resíduo para o subsolo e para a água subterrânea, implicando assim em danos continuados a médio e longo prazos. Estes efeitos podem afetar a qualidade do solo e da água, levando a novos danos ambientais e à população local.

A efetiva restauração das áreas afetadas pelos resíduos sólidos requer sua retirada e respectiva classificação e disposição conforme a legislação pertinente. Esta ação, primordial para mitigação destes danos, necessita ser cuidadosamente planejada e executada para que não ocorram danos colaterais ao ambiente e à população local, uma vez que estas áreas são de difícil acesso e compreendem uma grande extensão à margem dos rios danificados.

Esta ação está diretamente vinculada com o eixo temático: terra e água dentro dos Programas 23 e 24: Manejo de rejeitos; 31: Coleta e tratamento de esgoto e destinação de resíduos sólidos – programa que vem avançando, porém fora do cronograma pactuado, por diversas dificuldades e atrasos em virtude da relação entre a Fundação Renova e os municípios.

4.5 AÇÕES DE ACOMPANHAMENTO DA QUALIDADE DO AR

Com o objetivo de manter a qualidade do ar dentro dos padrões recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), nas áreas afetadas onde há permanência de pessoas, sugere-se uma série de ações interdependentes:

- Continuidade do monitoramento da qualidade do ar pelas estações que integram a rede estabelecida pela Fundação Renova;
- Monitoramento de partículas respiráveis ($PM_{2,5}$) na estação Barra Longa Volta da Capela, assim como realocar a estação para uma localidade mais próxima da população residente neste bairro;
- Ações de manejo do rejeito de modo que este não fique exposto à ação do vento (p.ex., pelas ações de restauração ecológica, mas também nas áreas onde esse manejo não será realizado);
- Acompanhamento da população residente quanto a possíveis patologias relacionadas à exposição ao material particulado;
- Monitoramento da direção e velocidade do vento nas estações Paracatu e Gesteira, para auxiliar na interpretação dos dados obtidos para as partículas em suspensão;
- Caso a remoção do rejeito depositado seja levada a efeito, esta atividade deve prever diversas ações para minimizar a ressuspensão de partículas para a atmosfera.

Esta ação está diretamente vinculada com o eixo temático: terra e água dentro dos Programas 23 e 24: Manejo de rejeitos.

5 ANÁLISE INTEGRADA

A liberação de 44 milhões de metros cúbicos de rejeito de mineração na bacia do rio Doce resultou, inegavelmente, em danos ambientais severos para o ecossistema terrestre e para a atmosfera. O diagnóstico dos danos socioambientais ocorridos nesse ambiente (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d) permitiu identificar e discutir os 32 danos verificados nas diversas matrizes bióticas e abióticas avaliadas. A partir deste estudo, foi possível verificar que grande parte dos danos se originaram nos primeiros momentos do rompimento da barragem, tendo cessado em curto período de tempo; em muitos casos, no entanto, seus efeitos persistem, ou seja, o ambiente afetado não pode ser considerado como recuperado. Nesse sentido, foram realizadas novas amostragens, abordagens metodológicas, e atualizações das métricas nos anos de 2019 e 2020 buscando complementar os indicadores e obter resultados robustos de acompanhamento dos danos, com especial enfoque àqueles que ainda não cessaram e/ou possuem efeitos persistentes. Neste relatório de acompanhamento estão contidos tais resultados, com a apresentação de uma avaliação consolidada dos danos socioambientais ocorridos na superfície, solos, flora, fauna, unidades de conservação e atmosfera. O presente capítulo busca discutir, de maneira integrada, os diferentes danos, suas relações e interconexões, estabelecendo-se um paralelo com o diagnóstico primário. Na Figura 221 a relação de danos é apresentada graficamente e, a seguir, são discurridos os danos e suas associações com o desastre.

Além da irreparável perda de vidas humanas, durante a passagem da onda de lama, a avalanche causou a devastação de aproximadamente 860 ha de mata ciliar, a exposição de rochas, o soterramento de feições subterrâneas, o revolvimento e soterramento dos solos das várzeas, a alteração na estabilidade de taludes e a morte e afugentamento de muitas espécies da fauna. Em paralelo, mais de 4.500 m³ de resíduos da construção civil foram carreados para o rio Doce e seus tributários, bem como foram geradas quantidades significativas de outros tipos de resíduos (como troncos e galhos resultantes da supressão da vegetação), que foram depositados em locais não atingidos, resultando na expansão da área afetada. Todos esses danos são associados à ação mecânica da onda de rejeitos, e estão representados na Figura 221 pelos elementos destacados na cor verde.

Figura 221 – Resumo gráfico dos danos ambientais decorrentes do rompimento da barragem de Fundão ao ambiente terrestre e à atmosfera.



Em conjunto, todos esses danos alteraram fisicamente a paisagem, modificando de maneira significativa a conformação de canais de drenagens, estradas, pastagens, ruas, entre outros, e causando a perda irreversível de patrimônio natural, ecológico e paisagístico da região. Paralelamente, muitas atividades econômicas desenvolvidas ao longo da área de passagem da lama tiveram que ser interrompidas, com destaque para empreendimentos de bens minerários (tais como cavas de extração de areia, argila, bauxita, etc.), que tiveram suas substâncias contaminadas pelo rejeito. Também nesse contexto, houve a perda de recursos florestais madeireiros e não madeireiros, utilizados pela população local para diversos usos (medicinal, ornamental, alimentício, etc.) na área de supressão da vegetação nativa.

Findada a passagem da avalanche, a água contida na lama escoou e deu origem ao segundo processo físico, de deposição e empacotamento da miscelânea de materiais sólidos sobre as planícies aluviais dos tributários do rio Doce (rios Gualaxo do Norte e Carmo). Esse processo resultou na formação de espessas camadas do rejeito de minério, misturado com sedimentos e detritos, que recobriram os solos naturais das várzeas. Cerca de 75% dos pontos de sondagem investigados apresentaram pelo menos 60 cm de espessura de deposição; mas em alguns locais mais próximos de Fundão, foram registradas camadas de até três metros de profundidade. A biota edáfica foi praticamente exterminada durante esse processo, embora novas colonizações de microorganismos e mesmo de plantas tenham se estabelecido nos maciços de rejeito ao longo do tempo. Em função disso, e de processos pedogenéticos que se sucederam, a presença dessa nova camada nas planícies (que é uma realidade até os dias atuais) permitiu reclassificar os solos dessas regiões para a classe dos Tecossolos, que são relativos aos solos originários de atividades manufaturadas pelos seres humanos.

A supressão da vegetação foi, sem dúvidas, o dano mais significativo para o ambiente terrestre, pois a partir dela, muitos outros danos ocorreram como consequência. A passagem da lama ocasionou a perda imediata de diversas espécies de árvores, trepadeiras, epífitas e herbáceas (muitas das quais representadas por espécies raras, ameaçadas de extinção e endêmicas da região do rio Doce), e cujos efeitos subsequentes resultaram na perda de biodiversidade da flora local. Ainda, o banco de sementes e de plântulas foi arrancado do solo, diminuindo a resiliência da floresta e seu potencial de regeneração natural e de recuperação frente a perturbações externas. A supressão da vegetação nativa causou, também, a fragmentação do habitat florestal (diminuição do tamanho médio dos fragmentos) e o aumento do efeito de borda, o que causa impacto não somente sobre a estrutura da paisagem, mas potencialmente sobre os processos ecológicos que ocorrem dentro das florestas e que repercutem diretamente na fauna terrestre.

Em função da perda e fragmentação dos habitats, e de recursos para a sobrevivência dos animais silvestres, verificou-se que após o desastre houve redução da adequabilidade ambiental e da conectividade da paisagem, criando condições adversas para a ocupação da fauna na região afetada. O efeito agudo do desastre, ou seja, o soterramento e morte de diversos animais de locomoção reduzida (anfíbios, répteis, insetos, etc.) não pôde ser mensurado; mas os reflexos do afugentamento e da perda de qualidade dos ambientes para o estabelecimento da fauna foram sentidos nas métricas de populações e assembleias faunísticas, que demonstraram ter havido queda dos índices de abundância e diversidade de diversos grupos de animais. De maneira geral, a fauna passou por modificações no conjunto de espécies que conseguem se estabelecer nas áreas afetadas pelo rejeito, em que muitas

espécies de maior sensibilidade foram substituídas por comunidades mais simplificadas e de hábitos generalistas. Além disso, detectou-se maior presença de animais domésticos na região da APDL, o que ratifica a presença de um ambiente degradado e de menor qualidade ambiental. Todos os aspectos discutidos anteriormente permitem concluir que os danos causados pelo rejeito culminaram na perda da biodiversidade terrestre como um todo.

A ação física da passagem da lama e a formação do Tecnossolo originaram, ainda, diversos danos resultantes das interações físico-químicas e/ou biológicas decorrentes da permanência do rejeito no ambiente e da imposição aos ecossistemas terrestres à convivência e à exposição constante ao rejeito. Esses efeitos são retratados na Figura 221 pelos elementos de cor azul claro.

Relativo ao próprio Tecnossolo que se formou foi possível constatar que esse substrato difere significativamente dos solos originais afetados. Nas planícies aluviais, os solos sofrem influência direta da dinâmica deposicional do corpo fluvial, e podem variar em características dependendo de diversos fatores. Mas via de regra, são solos que apresentam comportamentos típicos para a porção da paisagem em que estão inseridos, e possuem funções ecológicas bem definidas. Durante o processo pedogenético natural, reações químicas, físicas e biológicas, bem como a interação com o meio biótico (raízes de plantas, organismos do solo, etc.), são responsáveis por promover ao solo uma auto-organização de suas partículas, de modo que o mesmo apresente um arranjo estrutural que permite a formação de uma rede de poros. Assim, o meio poroso permite que o solo sustente o crescimento das plantas, regule o fluxo da água, promova a recarga do lençol freático, e de modo geral, a estruturação é a chave para manter sua estabilidade e diminuir o potencial de transporte das partículas pelos agentes erosivos (água e vento).

Devido ao acúmulo de uma espessa camada de partículas de rejeito sobre esses solos houve alteração da sua conformação física, e de certa maneira, os solos naturais foram solapados por um solo antrópico, sem estruturação, com baixa porosidade, adensado e com maior suscetibilidade à erosão. Ainda, os minerais presentes no rejeito são praticamente restritos a uma presença majoritária de óxidos de ferro e o Tecnossolo apresenta menor fertilidade, o que implica, também, em menor qualidade desse substrato para o crescimento de plantas cultivadas a médio e longo prazos. Assim, diversos danos à matriz do solo foram diagnosticados, relativos às alterações em sua composição, granulometria, densidade, permeabilidade, capacidade de suporte e deformabilidade, bem como de seu potencial produtivo e de propensão à erosão. É possível afirmar que houve diminuição da qualidade química, física, mecânica e geotécnica dos solos afetados, o que impacta indiretamente nas demais matrizes que interagem e dependem dessas características. Os efeitos da maior suscetibilidade à erosão do Tecnossolo, por exemplo, incorreram não apenas no maior potencial de carreamento do rejeito para o corpo hídrico (diminuindo a qualidade da água a cada evento de precipitação forte) mas também na alteração da qualidade do ar como um dano colateral. Tanto em função da maior propensão das partículas de rejeito a se suspenderem para a atmosfera, quanto em decorrência da presença constante de maquinários pesados trabalhando nos arredores, foram registradas diversas violações aos padrões de qualidade do ar na região afetada, especialmente no primeiro ano após o desastre.

Além dos processos descritos acima, uma das principais preocupações da presença do rejeito no ambiente terrestre refere-se ao seu potencial de contaminação do meio. No processo de

beneficiamento do itabirito ocorre a concentração e exportação do elemento de interesse (ferro), mas ainda assim, o rejeito de mineração herda da rocha mãe grande parte de sua composição química. Foram detectados diversos elementos químicos no rejeito, em teores variados, e que dependendo da concentração e biodisponibilidade podem apresentar toxicidade aos seres vivos. Dentre esses elementos (nominados ao longo do diagnóstico de danos e deste trabalho como elementos potencialmente tóxicos – EPTs), o Tecnossolo apresentou especial destaque para a elevada biodisponibilidade de ferro e manganês, embora outras matrizes tenham apresentado teores anômalos mesmo para outros EPTs. Nesse sentido, a presença constante desse substrato no ambiente terrestre pós-desastre alterou, consequentemente, o meio biótico, pois condicionou as espécies vegetais e animais ali presentes a uma exposição contínua e prolongada a esses elementos.

A contaminação do solo por EPTs reflete, consequentemente, na transferência desses elementos para os organismos vivos. Embora o estudo de contaminação da flora nativa não tenha permitido associar diretamente o rejeito à presença de EPTs nas espécies de árvores e arbustos nativos analisados, em determinados locais a lama não abateu os indivíduos da floresta de forma mecânica, mas se acumulou no sub-bosque, causando a morte tardia da vegetação. Assim, faz-se necessária a continuidade no monitoramento da possível transferência dos EPTs para o meio biótico via absorção das plantas, uma vez que o metabolismo de espécies perenes é mais lento do que de espécies de ciclo curto, e o tempo de avaliação da flora nativa pode não ter sido longo o suficiente para refletir as consequências da contaminação. Essa necessidade é corroborada pelo fato de ter sido identificado acúmulo de ferro e manganês em pastagens e plantas de interesse agrícola crescidas sobre o rejeito, e pela bioacumulação de EPTs observada nos animais terrestres. No caso da fauna, as rotas de bioacumulação podem ser diversas, tais como pela ingestão de solo contaminado durante o forrageio (p.ex. partículas de rejeito aderidas às presas), consumo de água com elevada concentração de EPTs, ou ainda por complexas interrelações na rede trófica, envolvendo plantas, pequenos insetos e vertebrados (inclusive peixes) – este último caso, o típico processo de bioacumulação na biota. Essas relações podem ter contribuído de diferentes formas ao comprometimento da saúde da fauna silvestre, assim como nas evidências de bioacumulação em alguns grupos de animais, observadas no presente estudo. Adicionalmente, o efeito sinérgico entre a bioacumulação de EPTs nos animais e a deterioração do ambiente podem ser as causas da detecção de piora das condições físicas da fauna, como o aumento da presença de parasitas em resposta ao estresse ambiental a que estão submetidos.

Paralelamente aos danos ocorridos em função da passagem da lama e da permanência do rejeito no ambiente terrestre, foram detectados novos danos decorrentes de ações emergenciais pós-desastre e de medidas reparatórias, representados graficamente na Figura 221 nos elementos nas cores azul escuro e azul marinho. Dentre essas ações, o recobrimento emergencial dos maciços de rejeito com solos do entorno ocasionou a disponibilização de outros EPTs que anteriormente não apresentavam problemas, e com isso houve uma segunda fonte de contaminação do solo. Embora em uma área consideravelmente menor, a contaminação do solo por EPTs em função das ações emergenciais não teria ocorrido se não houvesse o desastre, e esse dano representou a disponibilização de elementos de alta toxicidade, a exemplo do chumbo (Pb).

As obras de infraestrutura necessárias à logística de manejo dos rejeitos causaram a necessidade de supressão de uma área adicional da vegetação nativa para a instalação das estruturas (cerca de 231 ha), bem como houve ampliação da área afetada com os rejeitos devido à disposição em locais que anteriormente não haviam sido atingidos, como a Fazenda Vista Alegre, no município de Barra Longa. Ainda, os rejeitos foram concentrados em pilhas localizadas no Parque de Exposições e no campo de futebol do mesmo município, sendo que ao todo, quantificou-se área de disposição de rejeitos adicional de cerca de 34 ha. Por fim, as medidas reparatórias do desastre incluíram a utilização de espécies de gramíneas e leguminosas de ciclo curto para a colonização rápida das áreas de rejeito exposto, o que por um lado favoreceu a estabilização do material, mas por outro pode ter limitado o desenvolvimento de espécies nativas por conta da competitividade com as espécies exóticas introduzidas, algumas das quais são potencialmente invasoras.

Ao todo, os danos ambientais discutidos causaram prejuízos significativos para o ambiente terrestre e a atmosfera, por afetar os processos ecológicos e a interação entre os meios físico e biótico. É importante ressaltar, ainda, que tais danos se tornam ainda mais agravados quando ocorridos nas áreas de abrangência de Unidades de Conservação (UCs), Áreas de Proteção Especial (APEs) e outras Áreas Naturais Protegidas (ANPs), incluindo reservas legais (RLs), áreas de proteção permanente (APPs), terras indígenas e comunidades remanescentes de Quilombo. Essas são áreas legalmente protegidas por lei que visam a conservação da natureza e de modos de vida tradicionais e, portanto, a alteração dos elementos que as compõem, como consequência do rompimento da barragem de Fundão, ultrapassa os limites das normas de proteção estabelecidas pela legislação vigente. Existem 22 áreas naturais protegidas ao longo dos cursos d'água afetados pelo desastre, e dentro dessas, cerca de 22.250 ha foram direta ou indiretamente atingidos, incluindo importantes UCs de categorias de manejo de proteção integral, como o Parque Estadual do Rio Doce e o Parque Natural Municipal de Governador Valadares. Grande parte da área mais impactada pelo desastre (região entre a barragem de Fundão e a UHE Risoleta Neves) pertence às Áreas de Proteção Especial de Ouro Preto/Mariana e de Proteção Ambiental Municipal de Barra Longa.

Embora a região entre a barragem de Fundão e a UHE Risoleta Neves (conhecida como Candonga) tenha sido a mais afetada no ambiente terrestre (Compartimento 1) por conta do maior extravasamento de rejeito para a porção extracalha nessa região, os demais compartimentos da bacia do rio Doce também apresentaram danos à paisagem, bens minerários, flora, fauna e unidades de conservação no diagnóstico primário. Foram detectadas alterações à paisagem em ilhas fluviais, margens e áreas de proteção ambiental ao longo dos Compartimentos 2 e 3, bem como diversos bens minerários (com extrações localizadas mais próximas à calha) foram atingidos. Ainda, a obra de barramento do rio Pequeno, em Linhares/ES, causou a necessidade de abertura de áreas de mata nativa do entorno, contribuindo para o dano de supressão em decorrência de implantação de infraestrutura. Igualmente, as alterações de assembleias faunísticas, bem como a bioacumulação e as pioras nas condições físicas e no comprometimento da saúde da fauna silvestre foram observadas nos compartimentos à jusante de Candonga. Especialmente em fragmentos conservados, como o Parque Estadual do Rio Doce, a perturbação causada pelo desastre refletiu nos animais que ali habitam. Ao longo de toda a calha do rio diversas ANPs também sofreram danos, pois houve degradação da qualidade ambiental do território dessas áreas legalmente protegidas.

Sabe-se que a usina hidrelétrica de Candonga reteve fisicamente boa parte dos rejeitos liberados, causando uma segregação entre os efeitos do desastre sobre os compartimentos. Durante os estudos do diagnóstico de danos, considerava-se que a região terrestre à jusante da UHE Risoleta Neves não havia sofrido deposições de rejeito, por conta de o fluxo de lama ter se mantido constricto à calha do rio até atingir o oceano, no Espírito Santo. No entanto, o período chuvoso subsequente aos meses do rompimento da barragem (verão de 2016) apresentou um alto volume de precipitações, o que ocasionou o extravasamento do rio Doce em diversos locais ao longo dos Compartimentos 2, 3 e 4. Nesse sentido, um dos principais avanços do presente relatório de acompanhamento foi a constatação de que a área da passagem e deposição da lama (APDL) é maior do que a anteriormente apresentada, em especial nos Compartimentos 2, 3 e 4. Com isso, as áreas de abrangência dos danos foram atualizadas, bem como alguns danos que anteriormente não haviam sido classificados nesses compartimentos assim o foram. Esse resultado demonstra a importância do monitoramento da bacia para a detecção de danos futuros, pois eventos de cheia do rio Doce mais expressivos do que o observado em 2016 podem carrear o rejeito contido na calha para áreas ainda maiores. Isso de fato foi verificado em 2020, e os efeitos da cheia desse ano foram percorridos ao longo de um relatório específico desenvolvido pelo Lactec (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020i).

O acompanhamento dos danos, apresentado nesse documento, traz diversos progressos com relação ao diagnóstico primário. Embora as interpretações sobre os danos do diagnóstico tenham sido, em sua grande maioria, ratificadas com as evidências obtidas ao longo do acompanhamento, as novas amostragens em campo agregaram maior robustez e confiabilidade das conclusões apresentadas. Nesses casos, citam-se como exemplo o novo ciclo de coletas realizadas para os diferentes grupos da fauna terrestre e para o monitoramento da qualidade do ar, incluindo amostragens nos anos de 2019 e 2020. A adição de resultados permitiu tecer conclusões mais assertivas com base em número maior de observações. Para os danos ocorridos à atmosfera por exemplo, observou-se que, embora a qualidade do ar tenha apresentado tendência de melhora em comparação à época imediatamente após o desastre, os períodos de seca na região, em determinadas épocas do ano, ainda contribuem para que as partículas permaneçam em suspensão no ar. O mês de setembro de 2019 foi o mais crítico na região, com precipitação 40% inferior ao registrado no mesmo período de 2016, o que refletiu no aumento das concentrações de partículas em suspensão na atmosfera das áreas monitoradas.

Alguns temas estudados também se utilizaram de metodologias aprimoradas para obter as melhores interpretações possíveis, de acordo com a experiência adquirida ao longo dos primeiros anos do trabalho. Nesse sentido, os resíduos sólidos gerados pelo desastre foram recalculados com base em uma abordagem mais realística acerca dos detritos de construção civil. Além dessa alteração metodológica, o monitoramento através de um conjunto de imagens orbitais mais atuais para a quantificação das edificações atingidas, deixaram o resultado apresentado mais fidedigno e mais próximo da realidade.

Outras técnicas foram aplicadas, também, para os temas de fauna e atmosfera. Para a fauna, por exemplo, estudos complementares foram realizados utilizando-se de modelagens dos dados dos diferentes grupos de animais em conjunto com informações ecológicas e simulações de cenários futuros da paisagem. Esses estudos resultaram em informações relevantes para o planejamento de ações na

região. Encontraram-se diversos indícios que apontam para a baixa efetividade – para a biodiversidade terrestre como um todo – das ações de restauração florestal previstas pela Fundação Renova. Os modelos matemáticos permitiram verificar que as ações de restauração devem ser estendidas para áreas além das diretamente atingidas, para que haja efeitos concretos de retorno das condições ideais de vida e colonização da fauna silvestre. Nesse contexto, em decorrência das diversas avaliações e trabalhos realizados ao longo do diagnóstico, bem como da incorporação de novos dados, um novo dano foi identificado ao ambiente terrestre, de perda de biodiversidade terrestre (gravíssimo, cessado e reversível) – mensurado por uma série de métricas ecológicas.

No que diz respeito à atmosfera, foram realizadas análises acerca da morfologia e composição química elementar nas amostras de particulados recuperadas de filtros de estações de monitoramento. Embora tenha sido uma análise qualitativa, essa avaliação permitiu conhecer e mensurar melhor os riscos associados à inalação dessas partículas, contribuindo para a elaboração de medidas relativas ao acompanhamento da qualidade do ar visando sua melhoria.

Os danos cessados, mas cujos efeitos ainda persistem, também foram melhor analisados ao longo do acompanhamento do diagnóstico. Um exemplo dessa abordagem é o dano relacionado às UCs e ANPs. Além da atualização da área das unidades atingidas com base na nova APDL, realizou-se uma avaliação holística dos danos às diferentes matrizes, buscando interpretá-los com base na significância de terem ocorrido em áreas primariamente destinadas à conservação da natureza.

Um importante resultado obtido ao longo dos estudos de acompanhamento de danos foi a verificação de danos à matriz do solo nas manchas de inundação obtidas a partir da APDL 2016 ao longo dos Compartimentos 2, 3 e 4. Inicialmente, os solos dessas regiões haviam sido considerados não afetados pelo desastre. Contudo, à luz das novas evidências de carreamento do rejeito misturado ao sedimento, nos eventos de cheia do rio, foi realizado um levantamento das alterações às características do solo, em especial àquelas relacionadas com aspectos químicos (como contaminação e perda de fertilidade). Os resultados permitiram verificar que tanto a composição dos minerais do solo, quanto os atributos de fertilidade, de maneira contrária ao que foi observado no Tecnossolo, não foram prejudicados em função do desastre. Por outro lado, constatou-se que os solos sob influência das deposições de rejeito e sedimento nos Compartimentos 2, 3 e 4, devido às cheias do rio, foram contaminados com As e Mn.

Como já mencionado, a principal preocupação relativa à contaminação por EPTs está relacionada à possibilidade de esses elementos entrarem para a cadeia trófica. Algumas espécies de gramíneas presentes nos solos das manchas de inundação à jusante de Candonga, bem como espécies agrícolas cultivadas em experimento de casa de vegetação, foram utilizadas como indicadores para a interpretação da contaminação do solo. Essas espécies absorveram quantidades significativas de Fe e Mn, porém a transferência de As não foi observada na mesma magnitude. De maneira similar, foi realizado um estudo para verificar se há contaminação das espécies nativas (arbóreas e arbustivas) sob influência desses solos. A partir desse estudo, identificou-se que as plantas nativas apresentam EPTs em sua constituição, mas não houve distinção entre as áreas afetadas e controle, o que impossibilitou a associação direta com o desastre. É importante destacar, no entanto, que as avaliações de contaminação tanto de plantas de ciclo curto, quanto de espécies nativas necessitam de um acompanhamento de longo prazo, uma vez que a contaminação do solo nas áreas sob influência das manchas de inundação

é uma realidade, e enquanto houver a presença desses solos contaminados, pelo princípio de conservação de massas, considera-se que pode haver transferência dos EPTs para a vegetação. A verificação de bioacumulação nos animais silvestres corrobora essa conjectura. Os hábitos alimentares variados, a biomagnificação dos EPTs e mesmo o consumo direto da água do rio Doce podem explicar a razão pela qual observou-se contaminação na fauna, apesar de não ter sido necessariamente comprovada a contaminação na flora.

Em suma, o acompanhamento de danos permitiu comprovar que mesmo após cinco anos desse desastre ambiental sem precedentes, os ecossistemas terrestres ainda sofrem os efeitos danosos decorrentes da liberação dos rejeitos. Assim, com o acumulado dos trabalhos realizados pelo Lactec no território foi possível tecer algumas recomendações de ações que visam à recuperação do ambiente terrestre e da atmosfera. Sem dúvidas, a recuperação do componente florestal é a ação mais urgente e necessária, e que refletirá em benefícios ambientais às demais matrizes. Novamente ressalta-se que além da cobertura florestal em si, também devem ser alvo de ações de recuperação métricas como tamanho dos fragmentos restaurados e conexão física dos ambientes florestados da região. O uso de técnicas de restauração que envolvam dispersores naturais deve ser fomentado, uma vez que estas vias de dispersão podem subsidiar maior heterogeneidade ambiental em áreas restauradas. A regeneração dos habitats florestais refletirá em efeitos positivos não apenas para o ambiente terrestre, mas também para os ambientes fluvial e marinho, ao permitir a estabilização e, consequentemente, o carreamento mínimo de rejeito ao longo do corpo hídrico, que afeta a qualidade das águas, dos sedimentos e de toda a fauna que depende desses recursos.

Como medida de reparação, mas também de compensação a todos os danos gerados, recomenda-se o fortalecimento à gestão de áreas protegidas e mesmo a criação e regularização de novas Unidades de Conservação na região. Essa medida visa a auxiliar no alcance dos objetivos de conservação da bacia do rio Doce, resultando em bons frutos para o reestabelecimento dos serviços ecossistêmicos perdidos ou prejudicados em função do desastre. Ainda, citam-se ações de recomposição da matéria orgânica e fertilidade do solo, que permitirá estimular a produção primária e diminuir a propensão à erosão, auxiliando no processo de recuperação do ambiente terrestre; bem como ações de gestão de resíduos sólidos (para evitar que o ambiente sofra novas pressões, advindas de influências externas sobre a região) e de acompanhamento da qualidade do ar (visando o bem estar e a saúde da população local).

A visão conjunta entre todos os danos e indicadores demonstra a premente necessidade de um contínuo monitoramento sobre os efeitos do rompimento da barragem de Fundão aos ecossistemas terrestres. Muitos danos graves e gravíssimos continuam sendo considerados não cessados, conforme atestado pelos resultados do presente acompanhamento. No entanto, se ações sérias e efetivas de recuperação forem adotadas a contento, ainda pode haver a reversão de boa parte dos prejuízos ambientais. Com relação aos danos irreversíveis, a compensação ambiental é fundamental, e deve focar em ações que promovam benefícios sinérgicos, tanto para o meio ambiente, quanto para a população local que vive e se sustenta dos recursos naturais daquela região.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F. et al. (ed.). **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 645-736.
- ALBARÈDE, F. **Geoquímica uma introdução**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 400p.
- ALMEIDA, C. C.; FONTES, M. P. F.; DIAS, A. C.; PEREIRA, T. T. C.; KER, J. C. Adsorption and desorption of arsenic and its immobilization in soils. **Scientia Agricola**, 78(3): 1-11, 2021.
- ALVARENGA, A. P.; BOTELHO, S. A.; PEREIRA, I. M. Avaliação da regeneração natural na composição de matas ciliares em nascentes na região sul de Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 4, p. 360-372, out./dez. 2006.
- ALVAREZ, V. H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C. H.; PEREIRA, N. F. Enxofre. In: NOVAIS, R. D.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 595-644.
- ANDRADE, M. A.; DOMINGUES, C. S. & AUGUSTO, S. **Primeira revisão periódica da Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço**. Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço, MaB – Unesco. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil. 305 pp. 2015. Disponível em: https://issuu.com/reservadabiosferadaserradoespinhaco/docs/rbse_1___revis__o_peri__dica_portug. Acesso em: 10/10/2016.
- ANTUNES, A. Z.; ESTON, M. R.; SILVA, B. G.; SANTOS, A. M. R. Comparação entre as comunidades de aves de duas fitofisionomias florestais contíguas no Parque Estadual Carlos Botelho, SP. **Neotropical Biology & Conservation**, v. 6, n. 3, 2011.
- ANTUNES, L. E. C.; REISSER JÚNIOR, C.; SCHWENGBER, J. E. **Morangueiro**. Brasília: Embrapa, 2016.
- ARAÚJO, M. B.; NEW, M. Ensemble forecasting of species distributions. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 22, n. 1, p. 42-47, 2007.
- ARDENTE, A.C.; FERREGUETTI, A.C.; GETTINGER, D.; LEAL, P.; MENDES-OLIVEIRA, A.C.; MARTINS-HATANO, F.; BERGALLO, H.G. Diversity and Impacts of Mining on the Non-Volant Small Mammal Communities of Two Vegetation Types in the Brazilian Amazon. **PLoS ONE** 11(11): 1-16, 2016.
- ARÉVALO-GARDINI, E.; ARÉVALO-HERNÁNDEZ, C.O.; BALIGAR, V.C.; HE, Z.L. Heavy metal accumulation in leaves and beans of cacao (*Theobroma cacao* L.) in major cacao growing regions in Peru. **Science of the Total Environment**, 605-606: 792-800, 2017.
- ARNONE, I. S.; TRAJANO, E.; PULCHÉRIO-LEITE, A.; PASSOS, F. D. C. Long-distance movement by a great fruit-eating bat, *Artibeus lituratus* (Olfers, 1818), in southeastern Brazil (Chiroptera, Phyllostomidae): evidence for migration in Neotropical bats. **Biota Neotropica**, v. 16, n. 1, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12721: avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios – procedimento**. Rio de Janeiro, 91 p., 2ª edição, versão corrigida 2. 2007.
- _____. **ABNT NBR: 6458**: 2016. Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm – Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. **ABNT NBR 7181**: Solo: análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- _____. **ABNT NBR 7251**: Agregado em estado solto- Determinação da massa unitária - Método de ensaio. 1982.
- BAIG, A. Animals as Biological Indicators For Heavy Metal Pollution. **FUUAST Journal of Biology**, 9(1): 139-147, 2019.
- BARBOSA, L. M. Considerações gerais e modelos de recuperação de formações ciliares. In: RODRIGUES, R. R., LEITÃO FILHO, H. F. (Org) **Matas ciliares, conservação e recuperação**. São Paulo, FAPESP, 2009.
- BAKER, A. J. M; BROOKS, R. R. Terrestrial higher plants which hyper accumulate metallic elements – Review of their distribution, ecology, and phytochemistry. **Biorecovery**, 1989, v.1, p. 81-126.

- BASELGA, A.; ORME, C. D. L. betapart: an R package for the study of beta diversity. **Methods in ecology and evolution**, v. 3, n. 5, p. 808-812, 2012.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 7-18.
- BENEDETTI, M. M.; SPAROVEK, G.; COOPER, M.; CURTI, N.; FILHO, A.C. **Representatividade e potencial de utilização de um banco de dados de solos do Brasil**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.
- BENINNI, E. R. Y.; TAKAHASHI, H. W.; NEVES, C. S. V. J. Manejo do cálcio em alface de cultivo hidropônico. **Horticultura Brasileira**, 21(4): 605-310, 2003.
- BONNE, J.; VARNER, J. E. **Plant Biochemistry**. New York: Academic Press, 1965.
- BORBA, R. P.; FIGUEIREDO, B. R.; MATSCHULLAT, J. Geochemical distribution of arsenic in waters, sediments and weathered gold mineralized rocks from Iron Quadrangle, Brazil. **Environmental Geology**, 44: 39-52, 2003.
- BRADY, N. C.; WEIL, R.R. **Elements of the nature and properties of soils**. 3rd ed. Prentice Hall, 2010. 614 p.
- BRAGA, P. C. S. **Respostas Fisiológicas de *Theobroma cacao* L. a diferentes concentrações de ferro sob alagamento**. 2015. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Centro de Ciências Humanas e Naturais – Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2015.
- BRASIL. Decreto nº 4.340, Art. 40, de 22 de agosto de 2002. Regulamenta artigos da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 19 jul. 2000b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4340.htm>. Acesso em: 03 mai. 2021.
- _____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. Resolução 03/90, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 22 ago. 1990. Seção 1, p. 15937-15939. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>>. Acesso em: 01/07/2019.
- _____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. Resolução **CONAMA nº 357/2005**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005.
- _____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA nº 307/2002, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, DF, 17 jul. 2002. n. 136, p. 95-96.
- _____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA nº 491/2018, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 21 nov. 2018. Seção 1, p. 155-156. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>>. Acesso em: 01/07/2019.
- _____. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. **Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências**. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 19 jul. 2000a. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=322>>. Acesso em: 21 jul. 2017.
- _____. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 189. ed. Brasília, DF, 02 ago. 2010.

- _____. Ministério Público Federal (MPF). LACTEC. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce. **Relatório de Linha-Base: Volume I – Meio Físico**. Curitiba: Lactec, 2017a.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce. **Relatório de Linha-Base: Volume II – Meio Biótico**. Curitiba: Lactec, 2017b.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce. **Relatório de Linha-Base: Resumo Executivo**. Curitiba: Lactec, 2017c.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce. **Relatório Pós-desastre – Grupo 1: Qualidade de água, Águas subterrâneas, Pesca e Ecotoxicologia**. Curitiba: Lactec, 2018a.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce. **Relatório Pós-desastre – Meios Físico e Biótico: Geologia, Solos, Hidrologia e Hidrossedimentologia, Qualidade de sedimentos, Unidades de Conservação, Flora e Fauna**. Curitiba: Lactec, 2018b.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce. **Relatório Consolidado Bens Arqueológicos e Culturais**. Curitiba: Lactec, 2018c.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce. **1º Relatório Parcial de Resultados**. Curitiba: Lactec, 2018d.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce. **Relatório Metodológico de Valoração Econômica e Identificação de Danos Ambientais – Versão Preliminar**. Curitiba: Lactec, 2018e.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce. **Caracterização Parcial do Rejeito de Mineração do Complexo de Germano**. Curitiba: Lactec, 2018f.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce. **Atualização Linha-Base – Contextualização**. Curitiba: Lactec, 2019a.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce. **Atualização Linha-Base – Ambientes Aquáticos Continentais**. Curitiba: Lactec, 2019b.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce. **Atualização Linha-Base – Ambientes Terrestres e Atmosfera**. Curitiba: Lactec, 2019c.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce. **Atualização Linha-Base – Zona Costeira e Marinha**. Curitiba: Lactec, 2019d.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce. **2º Relatório Parcial de Resultados**. Curitiba: Lactec, 2019e.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce. **Qualificação e quantificação de Elementos Potencialmente Tóxicos (metais e semimetais) em pescado proveniente da área de proibição da pesca**. Curitiba: Lactec, 2019f.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce. **Relatório Parcial de Valoração Econômica dos Danos Socioambientais**. Curitiba: Lactec, 2020a.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce e região costeira adjacente. **TOMO I – Contextualização. Diagnóstico de Danos**. Curitiba: Lactec, 2020b.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce e região costeira adjacente. **TOMO II – Ambientes Aquáticos Continentais. Diagnóstico de Danos**. Curitiba: Lactec, 2020c.

- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce e região costeira adjacente. **TOMO III – Ambiente Terrestre e Atmosfera. Diagnóstico de Danos**. Curitiba: Lactec, 2020d.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce e região costeira adjacente. **TOMO IV – Zona Costeira e Marinha. Diagnóstico de Danos**. Curitiba: Lactec, 2020e.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce e região costeira adjacente. **TOMO V – Patrimônio Cultural. Bens Materiais. Diagnóstico de Danos**. Curitiba: Lactec, 2020f.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce e região costeira adjacente. **TOMO V – Patrimônio Cultural. Bens Imateriais. Diagnóstico de Danos**. Curitiba: Lactec, 2020g.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce e região costeira adjacente. **TOMO V – Patrimônio Cultural. Bens Arqueológicos. Diagnóstico de Danos**. Curitiba: Lactec, 2020h.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce e região costeira adjacente. **3º Relatório Parcial de Resultados: Cheia de 2020**. Curitiba: Lactec, 2020i.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce e região costeira adjacente. **Valoração Econômica dos Danos Socioambientais: Valoração Contingente**. Curitiba: Lactec, 2020j.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce e região costeira adjacente. **Diagnóstico dos danos ao patrimônio cultural nas Terras Indígenas**. Curitiba: Lactec, 2020k.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce e região costeira adjacente. **Aditivo da pesca - Qualificação e quantificação de Elementos Potencialmente Tóxicos (metais e semimetais) em pescado proveniente da área de proibição da pesca – região entre a Barra do Riacho, em Aracruz, e Degredo/Ipiranguinha, em Linhares, litoral do Espírito Santo**. Curitiba: Lactec, 2020l.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce e região costeira adjacente. **Parecer técnico sobre a área de passagem e deposição dos rejeitos advindos do rompimento da barragem de Fundão ao longo dos rios afetados – APDL 2016**. Curitiba: Lactec, 2020m.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce e região costeira adjacente. **Parecer técnico conjunto Lactec/Ramboll acerca da reparação dos danos ao patrimônio histórico cultural decorrentes do rompimento da barragem de Fundão, ao longo da bacia**. Curitiba: Lactec, 2020n.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce e região costeira adjacente. **Valoração Econômica dos Danos Socioambientais**. Curitiba: Lactec, 2021a.
- _____. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce e região costeira adjacente. **Parecer técnico nº 35 – Cenários de danos ao patrimônio cultural**. Curitiba: Lactec, 2021b.
- BROADLEY, M.; BROWN, P.; CAKMAK, I.; RENGEL, Z.; ZHAO, F. Function of nutrients: micronutrients. In: MARSCHNER, P. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. Elsevier: 2012. p. 191-248.
- BRUNET-ROSSINNI, Anja K.; AUSTAD, Steven N. Ageing studies on bats: a review. **Biogerontology**, v. 5, n. 4, p. 211-222, 2004.
- CÂMARA TÉCNICA DE GESTÃO DE REJEITOS E SEGURANÇA AMBIENTAL (CT-GRSA). **Análise do documento “APLICAÇÃO DOS PLANOS DE MANEJO DE REJEITOS - TRECHOS 10 E 11”**, 2019.

Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/cif/notas-tecnicas/CT-GRSA/2019/cif-ct-grsa-nt-2019-14.pdf>>

_____. **Análise do documento “VOLUME 3 – APLICAÇÃO DO PLANO DE MANEJO DE REJEITO NOS TRECHOS 1 A 4”**, 2018a. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/cif/notas-tecnicas/CT-GRSA/2018/cif-ct-grsa-nt-06-2018.pdf>>

_____. **Aprova o Plano de Manejo de Rejeitos – Trechos 6 e 7 e estabelece requisições sobre os Contextos B1 e B2: Depósitos em planícies com atividades econômicas e planícies com vegetação natural**, 2018b. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/cif/notas-tecnicas/CT-REJEITOS/2018/cif-ct-grsa-nt-2018-08.pdf>>

_____. **Análise do documento “VOLUME 4 – APLICAÇÃO DO PLANO DE MANEJO DE REJEITO NO TRECHO 9”**, 2018c. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/cif/notas-tecnicas/CT-REJEITOS/2018/cif-ct-grsa-nt-2018-13.pdf>>

_____. **Análise do documento “APLICAÇÃO DOS PLANOS DE MANEJO DE REJEITOS - TRECHOS 10 E 11”**, 2019. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/cif/notas-tecnicas/CT-GRSA/2019/cif-ct-grsa-nt-2019-14.pdf>>

_____. **Análise do documento “VOLUME 4 – APLICAÇÃO DO PLANO DE MANEJO DE REJEITO NO TRECHO 9”**, 2018d. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/cif/notas-tecnicas/CT-REJEITOS/2018/cif-ct-grsa-nt-2018-13.pdf>>

_____. **Ata da 36ª Reunião Ordinária da Câmara Técnica de Gestão dos Rejeitos e Segurança Ambiental**. 2019c.

_____. **Ata da 4ª Reunião Extraordinária da Câmara Técnica de Gestão dos Rejeitos e Segurança Ambiental**. 2019b.

CANTIDIO, L. S.; SOUZA, A. F. Aridity, soil and biome stability influence plant ecoregions in the Atlantic Forest, a biodiversity hotspot in South America. **Ecography**, v. 42, p. 1887–1898, 2019.

CARDOSO, P.; BARTON, P. S.; BIRKHOFFER, K.; CHICHORRO, F.; DEACON, C.; FARTMANN, T.; FUKUSHIMA, C. S.; GAIGHER, R.; HABEL, J. C.; HALLMANN, C. A.; HILL, M. J.; HOCHKIRCH, A.; KWAK, M. L.; MAMMOLA, S.; NORIEGA, J. A.; ORFINGER, A. B.; PEDRAZA, F.; PRYKE, J. S.; SAMWAYS, M. J. Scientists’ warning to humanity on insect extinctions. **Biological Conservation**, v. 17, n. November 2019, 2020.

CARNEIRO, A. P.; QUADROS, B. E. C.; OLIVEIRA, A. M. V.; BRUM, I. A.; SAMPAIO, T. S.; ALBERTE, E. P.; COSTA, D. B. Características do Entulho e do Agregado Reciclado. In: CARNEIRO, Alex Pires *et al.* **Reciclagem de Entulho para a Produção de Materiais de Construção: Projeto Entulho Bom**. Salvador: Editora da Ufba, 2001. Cap. 5. p. 142-186.

CARVALHO FILHO, A.; CURI, N.; MARQUES, J. J. G. S. E.; SHINZATO, E.; FREITAS, D. A. F.; JESUS, E. A.; MASSAHUD, R. T. L. R. Óxidos de manganês em solos do quadrilátero ferrífero. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 35, p. 793-804, 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000300015.

CARVALHO FILHO, A.; INDA, A. V.; FINK, J. R.; CURI, N. Iron oxides in soils of different lithological origins in Ferriferous Quadrilateral (Minas Gerais, Brazil). **Applied Clay Science**, [s. l.], v. 118, p. 1-7, 2015.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE CAVERNAS - CECAV. Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas – CANIE. Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV) / Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br/cecav/canie.html>> Acesso em: 05 jun. 2017.

CH2M. **Plano de Manejo de Rejeitos – Revisão 01**. São Paulo: CH2M, 2017.

CHAO, A.; GOTELLI, N.J.; HSIEH, T.C.; SANDER, E.L.; MA, K.H.; COLWELL, R.; ELLISON, A.M. Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. **Ecological Monographs**, v. 84, p. 45-67, 2014.

CHEN, P-Y. Table of key lines of X ray powder diffraction patterns of minerals in clay and associated rocks. Department of natural resources, **Geological survey** occasional paper 21. 1977. 77 p.

- CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. **Joint FAO/WHO Food Standards Programme Codex Committee on Contaminants in Foods: Working Document for Information and Use in Discussions Related to Contaminants and Toxins in the GSCTFF**, 2016. 150 p.
- CODEX ALIMENTARIUS. **CXS 193 - 1995**. International Food Standards: General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed. Revised 2019. 66 p.
- COELHO, G. C. **Restauração em pequenas propriedades: desafios e oportunidades**. In: HULLER, A. (Org.). *Gestão ambiental nos municípios: Instrumentos e experiências na administração pública*. Santo Ângelo: FURI, 2010. p. 195-215.
- COMISSÃO QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004. 400p.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Planilhas para Avaliação de Risco em Áreas Contaminadas sob Investigação - Residentes em Áreas Rurais**. 2020. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/planilhas-para-avaliacao/>>. Acesso em 12 nov. 2020.
- CONNELL, Joseph H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, v. 199, n. 4335, p. 1302-1310, 1978.
- COPPE. **Avaliação dos Impactos da Ruptura da Barragem de Rejeitos de Fundão em Mariana Nove Meses Após o Desastre (Capítulo 1 – “Avaliação da infraestrutura física atingida pelo acidente”)**. Rio de Janeiro: Fundação COPPETEC, 2016.
- CORRÊA, R. S.; ABREU, G. R. A. O dano a Unidades de Conservação nos termos do artigo 40 da Lei de Crimes Ambientais. *Revista Brasileira de Criminalística*, [S.l.], v. 3, n. 2, p. 11-16, 2014.
- CORRÊA, T. L. **Bioacumulação de metais pesados em plantas nativas a partir de suas disponibilidades em rochas e sedimentos: o efeito na cadeia trófica**. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais), Universidade de Ouro Preto, Ouro Preto. 2006.
- COSTA, A. C. S.; BIGHAM, J. M. Óxidos de ferro. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (ed.). **Química e Mineralogia do Solo: parte I - Conceitos básicos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 505-572.
- COSTA, A. R. **Nutrição Mineral em plantas vasculares**. Universidade de Évora, Escola de Ciência e Tecnologia, 2014. Ficha Técnica.
- COSTA, R. V. F.; LEITE, M. G. P.; MENDONÇA, F. P. C.; NALINI Jr., H. A. Geochemical mapping of arsenic in surface waters and stream sediments of the Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Revista Escola de Minas*, 68(1): 43-51, 2015.
- COSTA, R. V. G.; ATHAYDE JÚNIOR, G. B.; OLIVEIRA, M. M. Taxa de geração de resíduos da construção civil em edificações na cidade de João Pessoa. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 127-137, 2014.
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Acompanhamento da estiagem – relatório 02/2019**. Área de atuação da superintendência regional da CPRM de Belo Horizonte. Belo Horizonte: CPRM, 2019. 117 p.
- CRUZ, C. A. G.; FEIO, R. N.; CARAMASCHI, U. Anfíbios do Ibitipoca. Belo Horizonte: Bicho do Mato Editora. 132 p. Drummond, GM, CS Martins, ABM Machado, FA Sebaio and Y. Antonini (Org). 2005. **Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para Biological Society of Washington**, v. 95, n. 2, p. 377-385, 2009.
- CRUZ, F. V. S.; GOMES, M. P.; BICALHO, E. M.; TORRE, F. D.; GARCIA, Q. S. Does Samarco's spilled mud impair the growth of native trees of the Atlantic Rainforest? *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 189-110021: 1-12, 2020.
- CULLEN JUNIOR, Laury; RUDRAN, R.; VALLADARES-PADUA, C. Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre. **UFPR**. Curitiba, PR, 2003.
- CURI, N. H. A.; MASSARA, R. L.; PASCHOAL, A. M. O. Prevalence and risk factors for viral exposure in rural dogs around protected areas of the Atlantic forest. *BMC Vet Res*, v. 12, p. 21, 2016.

- D'ANDREA, P. S. et al. The parasitism of *Schistosoma mansoni* (Digenea–Trematoda) in a naturally infected population of water rats, *Nectomys squamipes* (Rodentia–Sigmodontinae) in Brazil. **Parasitology**, v. 120, n. 6, p. 573-582, 2000.
- DE VOS, C. R.; LUBBERDING, H. L.; BIENFAIT, H. F. Rhizosphere acidification as a response to iron deficiency in bean plants. **Plant Physiology**, 81: 842-846, 1986.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 327-354.
- DEVRIES, P. J.; WALLA, T. R.; GREENEY, H. F. Species diversity in spatial and temporal dimensions of fruit-feeding butterflies from two Ecuadorian rainforests. **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 68, n. 3, p. 333–353, 1999.
- DÍAZ, M. M.; SOLARI, S.; AGUIRRE, L. F.; AGUIAR, L.; BARQUEZ, R. M. Clave de Identificación de los murciélagos de Sudamérica–Chave de identificação dos morcegos da America do Sul. **Publicación Especial Nro**, v. 2, 2016.
- DORNELAS, M.; GOTELLI, N. J.; MCGILL, B.; SHIMADZU, H.; MOYES, F.; SIEVERS, C.; MAGURRAN, A. E. Assemblage time series reveal biodiversity change but not systematic loss. **Science**, v. 344, p. 296–299, 2014.
- ECOSOFT. Relatório anual de monitoramento da qualidade do ar e meteorologia e análise química das partículas totais em suspensão – Barra Longa, MG (referência: 18/02/2016 a 18/02/2017). RTC170116. Barra Longa, MG. Abril de 2017.
- _____. Relatório da campanha de monitoramento da qualidade do ar e meteorologia no mês de outubro/2016 e análise química das partículas totais em suspensão em Barra Longa – MG. RTC160238. Barra Longa, MG. Novembro de 2016.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.
- _____. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. revista. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.
- ERG ENGENHARIA. **Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos de Barra Longa** – MG. 2018. 274 p.
- FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005.
- FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: VAN LIER, Q. J. **Física do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. p. 1-27.
- FILGUEIRAS, T. S. et al. Caminhamento: um método expedito para levantamentos florísticos qualitativos. **Cadernos de Geociências** 12: 39-43, 1994.
- FINK, J. R.; INDA, A. V.; TIECHER, T.; BARRÓN, V. Iron oxides and organic matter on soil phosphorus availability. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40(4), p. 369-379, 2016.
- FISKE, I.; CHANDLER, R. Unmarked: an R package for fitting hierarchical models of wildlife occurrence and abundance. **Journal of statistical software**, v. 43, n. 10, p. 1-23, 2011.
- FLEMING, T. H. Opportunism versus specialization: the evolution of feeding strategies in frugivorous bats. In: *Frugivores and seed dispersal*. Springer, Dordrecht. p. 105-118, 1986.
- FLEMING, T. H.; HOOPER, E. T.; WILSON, D. E. Three Central American bat communities: structure, reproductive cycles, and movement patterns. **Ecology**, v. 53, n. 4, p. 555-569, 1972.
- FLORA DO BRASIL 2020. Em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: < <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>.
- FLORES, R. A.; CUNHA, P. P.; MARCHÃO, R. L.; MORAES, M. F. **Nutrição e Adubação de grandes culturas na região do cerrado**. Porto Alegre: Gráfica UFC, 2019.
- FONTES, M.P.F.; CAMARGO, O.A.; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. **Scientia Agricola**, 58: 627-646, 2001.

- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Water quality for agriculture**. Fao Irrigation and Drainage Paper 29, 1985. 174 p.
- FORATTINI, O. P.; ROCHA E SILVA, E. O.; FERREIRA, O. A.; RABELLO, E. X.; PATTON, D. G. B. Aspectos ecológicos da tripanossomíase americana: XVII-Desenvolvimento da domiciliação triatomínea regional, em centro de endemismo de *Triatoma sordida*. **Revista de Saúde Pública**, v. 17, p. 159-199, 1983.
- FREITAS, J. F. N. **Crescimento inicial e eficiência fotoquímica de mangueiras cultivadas em solo contendo lama do rio Doce**. 2018. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Centro de Ciências Humanas e Naturais – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018.
- FRITSCH, C.; COSSON, R. P.; COEURDASSIER, M. I.; RAOUL, F.; GIRAUDOUX, P.; CRINI, N.; VAUFLEURY, A.; SCHEIFLER, R. Responses of wild small mammals to a pollution gradient: Host factors influence metal and metallothionein levels. **Environmental Pollution** 158: 827–840, 2010.
- FUNDAÇÃO BIODIVERSITAS. **Revisão das listas das Espécies da Flora e da Fauna Ameaçadas de Extinção do Estado de Minas Gerais: Lista Vermelha da Fauna de Minas Gerais**. v. 3, Belo Horizonte, 2007.
- FUNDAÇÃO COPPETEC. Avaliação dos impactos da ruptura da barragem de rejeitos de Fundão em Mariana nove meses após o desastre. Capítulo 1 - “Avaliação da infraestrutura física atingida pelo acidente”, 2017.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM); FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS (CETEC); UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV); UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS (UFLA). **Determinação de valores de referência para elementos-traço em solos do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: FEAM/CETEC/UFV/UFLA, 2010.
- FUNDAÇÃO RENOVA. **Anexo II - Plano de Trabalho UHE Risoleta Neves - Candonga**, 2017b.
- _____. **Aplicação Plano de Manejo de Rejeitos no Trecho 9**, 2018d.
- _____. **PG-009 – Recuperação UHE Risoleta Neves - CANDONGA - Ficha de indicadores**, 2017d.
- _____. **Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Barra Longa – MG**, 2018c.
- _____. **Plano de Manejo de Rejeito – Revisão 01**, 2017a.
- _____. **Relatório técnico sobre a construção do aterro de rejeito no município de Barra Longa/ MG - Revisão 01**, 2017e.
- _____. **Relatório técnico sobre a construção do aterro de rejeito no município de Barra Longa/ MG - Revisão 01**, 2017c.
- _____. **Volume 3 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeito nos trechos 1 ao 4**, 2018a.
- _____. **Volume 4 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeito no Trecho 09 – Revisão 01**, 2018b.
- _____. **Volume 8 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeito no Trecho 12**, 2018c.
- FURLANI, A.M.C. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G.B. **Fisiologia vegetal**. São Paulo. 2004.
- GALINDO-GONZÁLEZ, Jorge; GUEVARA, Sergio; SOSA, Vinicio J. Bat-and bird-generated seed rains at isolated trees in pastures in a tropical rainforest. **Conservation biology**, v. 14, n. 6, p. 1693-1703, 2000.
- GARCIA, P. C. A.; LAVILLA, E.; LANGONE, J.; SEGALLA, M. V. Anfíbios da região subtropical da América do Sul, Padrões de distribuição. **Ciência e Ambiente**, v. 35, p. 65-100, 2007.
- GARDNER, A. L. (Ed.). **Mammals of South America, volume 1: marsupials, xenarthrans, shrews, and bats**. University of Chicago Press, 2008.
- GATTI, A.; BIANCHI, R.; ROSA, C. R. X.; MENDES, S. L. Diet of two sympatric carnivores, *Cerdocyon thous* and *Procyon cancrivorus*, in a restinga area of Espírito Santo State, Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 22, p. 227-230, 2006.
- GIOSTRI, A. F.; BOND, L. F. M.; MOTTA, A. C. V.; SERRAT, B. M.; VEZZANI, F. M. Micronutrientes e sódio em solo e campo nativo adubados com resíduo líquido de indústria de enzimas. **Synergismus scyentifica**, 4(1): 1-3, 2009.

- GIROTTI, L.; ESPÍNDOLA, E. L. G.; GEBARA, R. C.; FREITAS, J. S. Acute and Chronic Effects on Tadpoles (*Lithobates catesbeianus*) exposed to Mining Tailings from the Dam Rupture in Mariana, MG (Brazil). **Water, Air and Soil Pollution**, 231 – 325, 2020.
- GOEDERT, W. J. **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, 1986. 422p.
- GOMES, M. A. **Caracterização tecnológica no aproveitamento do rejeito de minério de ferro**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Faculdade de Engenharia Mineral – Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2009.
- GREEFF, D. **The impact of heavy metal contamination on the morphology and physiology of small mammals**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciências Animais, Vegetais e Ambientais, Universidade de Witwatersrand, Joanesburgo, 2018. 97p.
- GREENPEACE. **Contaminação por metais pesados na água utilizada por agricultores familiares na Região do Rio Doce**. Relatório final, Rio de Janeiro: IBCCF, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.
- GUERRA, M. B. B.; TEANEY, B. T.; MOUNT, B. J.; ASUNSKIS, D. J.; JORDAN, B.; BARKER, R. J.; SANTOS, E. E.; SCHAEFER, C. E. G. R. Post-catastrophe analysis of the Fundão tailings dam failure in the Doce river system, southeast Brazil: potentially toxic elements in affected soils. **Water, Air, & Soil Pollution**, [s. l.], v. 228, n. 252, p. 1-12, 2017.
- GUEVARA, Y. Z. C.; SOUZA, J. J. L. L.; VELOSO, G. V.; VELOSO, R. W.; ROCHA, P. A.; ABRAHÃO, W. A. P.; FILHO, E. I. F.. **Reference Values of Soil Quality for the Rio Doce Basin**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, [s. l.], v. 42, p. 1-16, 2018.
- GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J.; PIERANGELI, M. A. P.; ZULIANI, D. Q.; CAMPOS, M. L.; MARCHI, G. Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. In: NOVAIS, R. F.; VENEGAS, V. H. A.; SCHAEFER, C. E. G. (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. p. 345-390.
- GUISAN, A.; RAHBEK, C. SESAM - a new framework integrating macroecological and species distribution models for predicting spatio-temporal patterns of species assemblages. **Journal of Biogeography**, 38(8), 1433–1444, 2011. DOI: 10.1111/j.1365-2699.2011.02550.x.
- HADDAD, C. F. B.; PRADO, C. P. A. Reproductive modes in frogs and their unexpected diversity in the Atlantic Forest of Brazil. **BioScience**, v. 55, n. 3, p. 207-217, 2005.
- HAKANSON, L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. **Water Research**, [s. l.], v. 14, n. 8, p. 975-1001, 1980.
- HOCHMUTH, G.; MAYNARD, D.; VAVRINA, C.; HANLON, E.; SIMONNE, E. **Plant Tissue Analysis and Interpretation for Vegetable Crops in Florida**. IFAS Extension, 2018.
- HUAMANÍ-YUPANQUI, H. A.; HUAUYA-ROJAS, M. A.; MANSILLA-MINAYA, L. G.; FLORIDA-ROFNER, N.; NEIRA-TRUJILLO, G. M. Presencia de metales pesados em cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) orgânico. **Acta Agronômica**, 61(4): 339-344, 2012.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS – IAC. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Boletim Técnico 106. Campinas: IAC, 2009.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) (org.). **Atlas Nacional Digital do Brasil: atualização 2018**. Atualização 2018. 2015. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/atlas_nacional/. Acesso em: 15 dez. 2020.
- _____. **Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009: Análise do Consumo Alimentar Pessoal no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.
- _____. **Pesquisa de Orçamentos Familiares 2017-2018: Análise do Consumo Alimentar Pessoal no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.
- _____. **Saneamento básico no Brasil**. In: IBGE (Brasil) (comp.). **Atlas Nacional do Brasil Milton Santos**. Rio de Janeiro: Cb-18, 2010. Cap. 5. p. 194-196.

- _____. **Saneamento básico no Brasil**. In: IBGE (Brasil) (comp.). **Atlas de Saneamento**. Rio de Janeiro: Cb-18, 2011. Cap. 9.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Nota técnica no 001/2016 – presid/ibama termo de transação e de ajustamento de conduta relativo ao rompimento da barragem do fundão em Mariana/MG**, 2016a. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/phocadownload/noticias/noticias2016/nota_tecnica_001-2016.pdf>
- _____. **Nota Técnica No 02001.000606/2016-36 – Mensuração do dano em APP dos rios Gualaxo do Norte, Carmo e seus afluentes**, 2016b. Disponível em: <<https://www.gov.br/ibama/pt-br/centrais-de-conteudo/2016-03-nota-tecnica-02001-000606-2016-36-pdf>>
- _____. **Nota Técnica No 02015.000021/2016-67 – Dragagem emergencial dos primeiros 400m do reservatório da UHE Risoleta Neves - Candonga**, 2016c. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/cif/notas-tecnicas/CT-REJEITOS/2016/CIF-NT-02015.000021-2016-67-CT-REJEITOS.pdf>>
- _____. **Nota Técnica No 02015.000028/2016-89 – Criação de lâmina d'água controlada no reservatório da UHE Risoleta Neves - Candonga visando a contribuir com a atividade de dragagem e gestão de rejeitos**, 2016d. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/cif/notas-tecnicas/CT-REJEITOS/2016/CIF-NT-02001000028-2016-89-CT-REJEITOS.pdf>>
- _____. **Nota Técnica No 01/2017 – Análise do Anexo II - Plano de trabalho UHE Risoleta Neves (Candonga) constante do Plano de Manejo de Rejeitos**, 2017a. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/cif/notas-tecnicas/CT-REJEITOS/2017/CIF-NT-001-Ibama-Sisema-CT-REJEITOS.pdf>>
- _____. **Nota Técnica No 02/2017 – Análise do Plano de Manejo de Rejeitos apresentado pela Fundação Renova**, 2017b. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/cif/notas-tecnicas/CT-REJEITOS/2018/cif-ct-rejeitos-nt-2017-02-Ibama-Sisema-lema.pdf>>
- _____. **Relatório Fase Hélios Operação Águas**, 2016e. Disponível em: <http://ibama.gov.br/phocadownload/noticias/noticias2016/relatorio_fase_helios_operacao_augias.pdf>
- _____. **Nota técnica nº4/2020/CT-FLOR/GABIN**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/cif/notas-tecnicas/CT-FLOR/cif-nt-ct-flor-04-2020.pdf>> Acesso em 12 ago. 2020.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume III - Aves. In: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade.(Org.). Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção. Brasília: **ICMBio**. 2018. 709p.
- INSTITUTO PRÍSTINO. **Laudo técnico sobre a situação atual urbanística da sede do município de Barra Longa e do povoado de Gesteira associada às consequências decorrentes do rompimento da barragem de Fundão - Inquérito Civil No MPMG-0521.15.000648-9**. Belo Horizonte: Instituto Prístino, 2016. 73 p.
- IPNI – INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2ª ed. Piracicaba: POTAFOS, 1998.
- IUCN. **The IUCN red list of threatened species**. Versão 2021-1. 2021. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org>.
- JONES JR., J. B. **Plant Nutrition**: Manual. Boston: CRC Press, 1998.
- JUNCA F. A.; PAVAN, D.; JESUS, T. B.; ETEROVICK, P. “Girinos como bioindicadores da qualidade da água do Rio Doce”. **Relatório final**. Universidade Estadual de Feira de Santana, 2017.
- KAGEYAMA, P. Y.; GANDARA, F. B. Recuperação de áreas ciliares. In: RODRIGUES, R. R., LEITÃO FILHO, H. F. (Org) **Matas ciliares, conservação e recuperação**. São Paulo, FAPESP, 2000.
- KAKU-OLIVEIRA, N. Y. **Estrutura de comunidade, reprodução e dinâmica populacional de morcegos (Mammalia, Chiroptera) na Reserva Natural do Salto Morato, Guaraqueçaba, Paraná**. 2010. Tese de Doutorado. Master Thesis, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

- KÄMPF, N. SCHWERTMANN, U. Relações entre óxidos de ferro e a cor em solos cauliniticos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, p. 27-31, 1983.
- KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Grupo Editorial Nacional, 2019.
- KLINK, R. VAN; BOWLER, D. E.; GONGALSKY, K. B.; SWENGEL, A. B.; GENTILE, A.; CHASE, J. M. Meta-analysis reveals declines in terrestrial but increases in freshwater insect abundances. **Science**, v. 368, n. April, p. 417–420, 2020.
- KOPITTKKE, P.M.; MENZIES, N.W. A review of the use of the basic cation saturation ratio and the “ideal” soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 71(2): p. 259-265, 2007.
- KORINE, C.; ADAMS, R.; RUSSO, D.; FISHER-PHELPS, M.; JACOBS, D. Bats and water: anthropogenic alterations threaten global bat populations. In: KINGSTON T.; VOIGT, C. (Org). Bats in the Anthropocene: conservation of bats in a changing world. **Springer International**, 2015. p. 215–233.
- KRUSE, H.; KIRKEMO, A.; HANDELAND, K. Wildlife as source of zoonotic infections. **Emerging infectious diseases**, v. 10, n. 12, p. 2067, 2004.
- LATIF, Quresh S.; ELLIS, Martha M.; AMUNDSON, Courtney L. A broader definition of occupancy: Comment on Hayes and Monfils. **Journal of Wildlife Management**. 80 (2): 192-194., v. 80, n. 2, p. 192-194, 2016.
- LEBDOSOEOKOJO, S.; AMMERMAN, C.B.; RAUN, N.S.; GOMEZ, J.; LITTELL, R.C. Mineral nutrition of beef cattle grazing native pastures on the eastern plains of Colombia. **Journal of Animal Science**, v. 51(6): p. 1249-1260, 1980.
- LEELASAKULTUM, K.; KIM OANH, N. T. Mapping exposure to particulate pollution during severe haze episode using improved MODIS AOT-PM 10 regression model with synoptic meteorology classification. **GeoHealth**, 1, 165-179, 2017. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/2017GH000059>>. Acesso em 23/04/2021.
- LEITE, F.P.; NOVAIS, R.F.; SILVA, I.R.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; MEDEIROS, A.G.B.; VENTRELLA, M.C.; VILLANI, E.M.A. Manganese accumulation and its relation to “eucalyptus shoot blight in the vale do rio Doce”. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 193-204, 2014.
- LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. 1. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2011. 456 p.
- LESSA, I.; GUIMARÃES, T. C. S.; DE GODOY BERGALLO, H.; CUNHA, A.; VIEIRA, E. M. Domestic dogs in protected áreas: a threat to Brazilian mammals? **Natureza & Conservação**, v. 14, n. 2 p. 46-56, 2016.
- LIEBSCH, D.; MARQUES, M. C. M.; GOLDENBERG, R. How long does the Atlantic Rain Forest take to recover after a disturbance? Changes in species composition and ecological features during secondary succession. **Biological Conservation**, 141 (2008).
- LONDE, V.; FARAH, F. T.; RODRIGUES, R. R.; MARTINS, F. R. Reference and comparison values for ecological indicators in assessing restoration areas in the Atlantic Rainforest. **Ecological Indicators**, 110, 2020.
- LOURENÇO, E. C.; ESBÉRARD, C. E. L. Reinfestation of Streblidae ectoparasites (Diptera) in *Carollia perspicillata* (Linnaeus, 1758)(Chiroptera). **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 20, n. 4, p. 325-330, 2011.
- MACKENZIE, D. I. et al. Occupancy Estimation and Modeling. **Academic Press**, New York, New York, 2006.
- MACKENZIE, D. I.; NICHOLS, J. D.; LACHMAN, G. B.; DROEGE, S.; ANDREW ROYLE, J.; LANGTIMM, C. A. Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one. **Ecology**, v. 83, n. 8, p. 2248-2255, 2002.
- MAGURRAN, A. E. Measuring biological diversity. **Blackwell Science Ltd**, Oxford. 2004.
- MAIA, F. F. **Elementos traços em sedimentos e qualidade da água de rios afetados pelo rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, MG**. 2017. Dissertação (Mestrado em Magister Scientiae) – Centro de Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2017.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 2006.

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MANGINI, P. R. **Saúde e suas relações com biodiversidade, pesca e paisagem em duas comunidades de pescadores artesanais no litoral do Paraná**. 2010. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, 2010.
- MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. Stuttgart-Hohenheim: Academic Press, 1997.
- MARTINS, S. C.; SOUSA NETO, E.; PICCOLO, M. C.; ALMEIDA, D. Q. A.; CAMARGO, P. B.; CARMO, J. B.; PORDER, S.; LINS, S. R. M.; MARTINELLI, L. A. Soil texture and chemical characteristics along an elevation range in the coastal Atlantic Forest of Southeast Brazil. **Geoderma Regional**, v.5, p.106-116, 2015.
- MARTINS, S. V. Restauração florestal. **Boletim de extensão** n. 67. Viçosa, 2020.
- MAXIMIANO, L. A. **Considerações sobre o conceito de paisagem socioambiental**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- McBRIDE, M.B. **Environmental chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1994. 406 p.
- MEDELLÍN, Rodrigo A.; EQUIHUA, Miguel; AMIN, Miguel A. Bat diversity and abundance as indicators of disturbance in Neotropical rainforests. **Conservation biology**, v. 14, n. 6, p. 1666-1675, 2000.
- MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. **Química e mineralogia do solo: parte I - conceitos básicos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. 695 p.
- Mendiburu, F. **Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research**. 2017. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>> Acesso em: 09 dez. 2020.
- MIKICH, Sandra Bos; BIANCONI, Gledson Vigiano. Potencializando o papel dos morcegos frugívoros na recuperação de áreas degradadas. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 51, p. 155, 2005.
- MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM. Deliberação Normativa COPAM Nº 147, de 30 de abril de 2010. **Aprova a Lista de Espécies Ameaçadas de Extinção da Fauna do Estado de Minas Gerais**. Diário do Executivo, Minas Gerais, de 04 de maio de 2010.
- _____. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM. **Deliberação Normativa COPAM nº 166**, de 29 de junho de 2011. Belo Horizonte: Diário do Executivo, 2011.
- MOCELLIN, R. S. P. **Princípios da adubação foliar: coletânea de dados e revisão bibliográfica**. Canoas: OMEGA, 2004.
- MORAES, L. F. D.; ASSUMPÇÃO, J. M.; PEREIRA, T. S.; LUCHIARI, C. **Manual técnico para restauração de áreas degradadas no Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2013.
- MOTTA, A. C. V.; LIMA, M. R. Princípios de calagem. In: LIMA, M. R. (ed.). **Diagnóstico e recomendações de manejo do solo: aspectos teóricos e metodológicos**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, 2006. p. 191-228.
- MUNSELL SOIL COLOR COMPANY. **Munsell soil color charts**: Munsell color. Baltimore (Maryland): Macbeth Division of Kollmorgen Coporation, USA, 1950, revised 1975.
- MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Trends in Ecology and Evolution**, v.10, n.2, p. 58-62. 1995.
- NAEEM, M.; ANSARI, A. A.; GILL, S. S. (eds). **Contaminantes in Agriculture: Sources, Impacts and Management**. Bathinda: Springer, 2020.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Mineral tolerance of animals**. 2. ed. Washington (D.C.): NRC, 2005. 496 p.
- _____. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7. ed. Washington (D.C.): NRC, 2001. 381 p.

- NAVE, A. G.; RODRIGUES, R.; BRANCALION, P.; FARAH, F.; SILVA, C.; LAMONATO, F. Manual de restauração ecológica: Técnicos e produtores rurais no extremo sul da Bahia. São Paulo: LERF/ESALQ/USP: **Bioflora Tecnologia da Restauração**, 2015. p. 23-28.
- NBL – Engenharia Ambiental Ltda. & The Nature Conservancy (TNC). 2013. Manual de Restauração Florestal: Um Instrumento de Apoio à Adequação Ambiental de Propriedades Rurais do Pará. **The Nature Conservancy**, Belém, PA. 128 p.
- NERI, A. V.; SOARES, M. P.; MEIRA NETO, J. A. A.; DIAS, L. E. Espécies de Cerrado com potencial para recuperação de áreas degradadas por mineração de ouro. Paracatu, MG. **Revista Árvore**, v.35, n.4, p. 907-918, 2011.
- NOGUEIRA, M. R.; POL, A.; PERACCHI, A. L. Use of water holes by Stenodermatinae bats in western Amazonian Brazil. **Bat Research News**, v. 39, n.3, p. 95, 1998.
- NOVAIS, S.; MACEDO-REIS, L. E.; CRISTOBAL-PERÉZ, E. J.; SÁNCHEZ-MONTOYA, G.; JANDA, M.; NEVES, F.; QUESADA, M. Positive effects of the catastrophic Hurricane Patricia on insect communities. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 15042, 2018.
- OGUNDELE, D. T.; ADIO, A. A.; OLUDELE, O. E. Heavy metal concentration in plant and soil along heavy traffic roads in north central nigeria. **Journal of Environmental and Analytical Toxicology**, v. 5, n. 6, 2015.
- OKSANEN, J.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; O'HARA, B.; STEVENS, M. H. H.; OKSANEN, M. J.; SUGGESTS, M. A. S. S. The vegan package. **Community ecology package**, v. 10, p. 631–637, 2017.
- PACHECO, A. A. **Avaliação da contaminação em solos e sedimentos da bacia hidrográfica do rio Doce por metais pesados e sua relação com o fundo geoquímico natural**. 2015. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.
- PARKER III, T.A.; STOTZ, D.F.; FITZPATRICK, J.W. Ecological and distributional databases, p. 113-436. In: STOTZ, D.F.; FITZPATRICK, J.W.; PARKER III, T. A. & MOSKOVITS, D.K. (Eds). Neotropical birds: ecology and conservation. Chicago, **University of Chicago Press**, XI+700p. 1996.
- PASSAMANI, M.; MENDES, S.L. (Orgs.) **Espécies da fauna ameaçadas de extinção no Estado do Espírito Santo**. Vitória: Instituto de Pesquisas da Mata Atlântica, 2007. 140 p.
- PATTERSON, B. D.; WILLIG, M. R.; STEVENS, R. D. Trophic strategies, niche partitioning, and patterns of ecological organization. **Bat ecology**, v. 9, p. 536-557, 2003.
- PATROL. **Ensaios de laboratório**. PAT-RT-LAB-1893.18-0001. [S.l.]: Fundação Renova. 2017.
- PAULETTI, V. **Nutrição de plantas**. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola. Morretes: UFPR. 73 Slides, 2011.
- PELLANDA, M.; CASTRO ALMEIDA, C. M.; SANTOS, M. D. F. M.; HARTZ, S. M. Dieta do mão-pelada (*Procyon cancrivorus*, Procyonidae, Carnivora) no Parque Estadual de Itapuã, sul do Brasil. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 5, n. 3, p. 154-159, 2010.
- PINTO, Tarcísio de Paula. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 189 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- POWELL, R.A. **Mammals and mining for minerals in sulphur-bearing rock formations in northeastern Minnesota**, 1-17, 2017. Disponível em: <https://www.savetheboundarywaters.org/sites/default/files/attachments/16-powell.-2017.-bwca-mining-white-paper-on-mammals-2017-04-28-final_0.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2021.
- PUGA, A. P.; PRADO, R. M.; MELO, D. M.; GUIDI, I. M.; ORTEGA, K.; CARDOSO, S. S.; ALMEIDA, T. B. Efeitos da aplicação de manganês no crescimento, na nutrição e na produção de matéria seca de plantas de *Brachiaria brizantha* (cv. MG4) em condições de casa de vegetação. **Revista Ceres**, v. 58, n.6, p. 811-816, 2011.
- R Core Team. 2018. R: **A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>> Acesso em: 09 dez. 2020.

- RAIJ, B. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011.
- RAMBOLL. **Avaliação dos programas a cargo da Fundação Renova**. Disponível em: <<http://www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/atuacao-do-mpf/pareceres-e-relatorios>> Acesso em: 07 abr. 2021.
- _____. Relatório de monitoramento consolidado dos programas socioeconômicos e socioambientais para restauração da bacia do Rio Doce. **Relatório de Monitoramento Consolidado**. [S. l.]: RAMBOLL, 2018. 216 p.
- REILLY, J. S. (Ed.). **Euthanasia of animals used for scientific purposes**. ANZCCART, 2001
- REIS, N. R.; PERACCHI, A. L.; PEDRO, W. A.; LIMA, I. P. (Ed.). **Morcegos do Brasil**. Universidade Estadual de Londrina, 2007.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. (ed.) COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS: 5. Aproximação – CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, 1999, 359 p.
- ROBLE JÚNIOR, J. C. **Exame físico e ectoparasitológico de aves do Parque Nacional Saint-Hilaire/Lange e seu entorno: influências antrópicas e sazonais**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, 2014.
- ROCHA, E. G. A. **Os Resíduos Sólidos de Construção e Demolição: gerenciamento, quantificação e caracterização**. 2006. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Estruturas e Construção Civil, Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia., Brasília, 2006.
- RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Recomposição de florestas nativas: Princípios gerais e subsídios para uma definição metodológica. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**. Campinas, v.2, n.1, 1996.
- RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. In: RODRIGUES, R. R., LEITÃO FILHO, H. F. (Org) **Matas ciliares, conservação e recuperação**. São Paulo, FAPESP, 2009.
- RODRIGUES, A. S. D. L. **Caracterização da bacia do rio Gualaxo do Norte, MG, Brasil: avaliação geoquímica ambiental e proposição de valores de background**. 2012. Tese (Doutorado em Evolução Crustal e Recursos naturais) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2012.
- ROHDE, G. M. **Geoquímica Ambiental e estudos de impacto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.
- ROSS, S. M.; KAYE, K. J. The meaning of metal toxicity in soil plant systems. In: ROSS, S. M. **The meaning of metal toxicity in soil-plant systems**. Chichester: John Wiley & Sons. 1994. p.27–61.
- ROSSIELLO, R. O. P.; NETTO, J. J. Toxidez de alumínio em plantas: novos enfoques para um velho problema. In: FERNANDES, M. S. (ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 375-418.
- ROY, H. E.; PEYTON, J.; ALDRIDGE, D. C.; BANTOCK, T.; BLACKBURN, T. M.; BRITTON, R.; CLARK, P.; COOK, E.; DEHNEN-SCHMUTZ, K.; DINES, T.; DOBSON, M.; EDWARDS, F.; HARROWER, C.; HARVEY, M. C.; MINCHIN, D.; NOBLE, D. G.; PARROTT, D.; POCOCK, M. J.; PRESTON, C. D.; ROY, S.; STEWART, A. J. A.; WALKER, K. J. Horizon scanning for invasive alien species with the potential to threaten biodiversity in Great Britain. **Global Change Biology**, v. 20, p. 3859–3871, 2014.
- SÁNCHEZ-CHARDI, A.; MARQUES, C. C.; NADAL, J.; MATHIAS, M. L. Metal bioaccumulation in the greater white-toothed shrew, *Crocidura russula*, inhabiting an abandoned pyrite mine site. **Chemosphere**, 67: 121-130, 2007.
- SÁNCHEZ-CHARDI, A.; MARQUES, C. C.; GABRIEL, S.I.; CAPELA-SILVA, F.; CABRITA, A.S.; LÓPEZ-FUSTER, M.J.; NADAL, J.; MATHIAS, M. L. Haematology, genotoxicity, enzymatic activity and histopathology as biomarkers of metal pollution in the shrew *Crocidura russula*. **Environmental Pollution** 156: 1332–1339, 2008.

- SÁNCHEZ-CHARDI, A.; OLIVEIRA RIBEIRO, C.A.; NADAL, J. Metals in liver and kidneys and the effects of chronic exposure to pyrite mine pollution in the shrew *Crocodylus russula* inhabiting the protected wetland of Doñana. **Chemosphere** 76: 387–394, 2009.
- SANTANA, M. B. M.; IGUE, K. Composição química das folhas do cacaueiro em função da idade e da época do ano. **Revista Theobroma**, 9(2): 63-76, 1979.
- SANTOS, H. G. et al. **O novo mapa de solos do Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.
- SCHUBART, O.; A.C. AGUIRRE & H. SICK. 1965. Contribuição para o conhecimento da alimentação das aves brasileiras. **Arquivos de Zoologia**, São Paulo, 12: 95-249.
- SCHULZE, M. D.; SEAVY, N. E.; WHITACRE, D. F. A Comparison of the Phyllostomid Bat Assemblages in Undisturbed Neotropical Forest and in Forest Fragments of a Slash-and-Burn Farming Mosaic in Petén, Guatemala 1. **Biotropica**, v. 32, n. 1, p. 174-184, 2000.
- SENGER, C.C.D.; SANCHEZ, L.M.B.; PIRES, M.B.G.; KAMINSKI, J. Teores minerais em pastagens do Rio Grande do Sul – II. Sódio, enxofre, zinco, cobre, ferro e manganês. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 32(1): 101-108, 1997.
- SICK, H. **Ornitologia Brasileira**. Rio de Janeiro: Ed. Nova Fronteira. 862p.1997.
- SILVA, A. C.; CAVALCANTE, L. C. D.; FABRIS, J. D.; FRANCO JÚNIOR, R.; BARRAL, U. M.; MELO FARNEZI, M. M.; VIANA, A. J. S.; ARDISSON, J. D.; FERNANDEZ-OUTON, L. E.; LARA, L. R. S.; STUMPF, H. O.; BARBOSA, J. B. S.; SILVA, L. C. Chemical, mineralogical and physical characteristics of a material accumulated on the river margin from mud flowing from the collapse of the iron ore tailings dam in Bento Rodrigues, Minas Gerais, Brazil. **Revista Espinhaço**, [s.l.], v. 5, n. 2, p. 44-53, 2016.
- SILVA, G. P.; FONTES, M. P. F.; COSTA, L. M. da; BARROS, N. F. Caracterização química, física e mineralógica de estêreis e rejeito da mineração de ferro da Mina de Alegria, Mariana-MG. **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, [s. l.], v. 36, n. 1, p. 45-52, 2006.
- SILVA, I. D.; MENDONÇA, E. D. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. D.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 276-374.
- SINGH, B. K.; WALKER, A. Microbial degradation of organophosphorus compounds. **FEMS microbiology reviews**, v. 30, n. 3, p. 428-471, 2006.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (SBCS). Núcleo Estadual do Paraná (NEPAR). **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017.
- _____. Núcleo Estadual do Paraná (NEPAR). **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2019.
- _____. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: SBCS, 2018.
- SOUZA, V. B. **Avaliação da geração de entulho em conjunto habitacional popular - estudo de caso**. 2005. 268 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.
- SUGANUMA, M. S.; DURIGAN, G. Indicators of restoration success in riparian tropical forests using multiple reference ecosystems. **Restoration Ecology**, Tucson, v. 23, n. 3, p. 238-251, 2015.
- SUPERINTENDÊNCIA DE PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL (SPUR). **Relatório nº 212673**. Processo Nº 1470.01.0000223/2018-40. Indica para a Fundação Renova a necessidade de prorrogação de prazo das ações de destinação adequada dos resíduos sólidos do município de Barra Longa. Belo Horizonte. 2018.
- TAN, K.H. **Humic matter in soil and the environment – Principles and controversies**. Nova York: Marcel Dekker, 2003.
- TROUWBORST, A.; MCCORMACK, P. C.; CAMACHO, E. M. Domestic cats and their impacts on biodiversity: A blind spot in the application of nature conservation law. **People and Nature**, v. 2, p. 235–250, 2020.

- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. 3120 Metals by plasma emission spectroscopy, 3120B Inductively Coupled Plasma (ICP) Method. Ed. 22. 1999.
- _____. SW-846 EPA Method 3050B: Acid digestion of sediments, sludges, and soils. In: **Test Methods for Evaluating Solid Waste**, Revision 2. Washington: US Environmental Protection Agency, 1996.
- _____. SW-846 EPA Method 3051A: Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils and oils. In: **Test Methods for Evaluating Solid Waste**, 3. ed. Update. Washington: US Environmental Protection Agency, 2007.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA)/ INTEGRATED RISK INFORMATION SYSTEM (IRIS). **Chemical Search: IRIS Advanced Search**. 2020. Disponível em: <<https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/search/index.cfm>>. Acesso em: 05 nov. 2020.
- VASCONCELLOS, S. A. Leptospirose Animal. In: **ENCONTRO NACIONAL EM LEPTOSPIROSE**, Rio de Janeiro, 1993. Anais... Rio de Janeiro: [s.n.] p. 62-65, 1993.
- VEECH, J. A.; SUMMERVILLE, K. S.; CRIST, T. O.; GERING, J. C. The additive of species diversity: partitioning recent revival of an old idea. **Oikos**, v. 99, p. 3–9, 2002.
- VIANI, R. A. G.; STRASSBURG, B.; SCARAMUZZA, C.; RODRIGUES, R.; PADOVEZI, A. F. T. F. C.; GARCIA, L.; ... & BARRETO, T. Protocolo de monitoramento para programas e projetos de restauração florestal. **Pacto pela restauração da Mata Atlântica**, 2013.
- VIECELLI, C. A. (org.). **Guia de deficiências nutricionais em plantas**. Toledo: PUCPR Câmpus Toledo, 2017.
- VIZOTTO, L. D.; TADDEI, V. A. Chave para determinação de quirópteros brasileiros. **Boletim Ciências São José do Rio Preto**, São Paulo. 1. 1-72. 1973.
- VOGEL, S. Chiropterophilie in der neotropischen Flora Neue Mitteilungen III. Flora oder Allgemeine botanische Zeitung. **Abt. B, Morphologie und Geobotanik**, v. 158, n. 4-5, p. 289-323, 1969.
- WHITTAKER, R. J.; JONES, S. H. The role of frugivorous bats and birds in the rebuilding of a tropical forest ecosystem, Krakatau, Indonesia. **Journal of Biogeography**, p. 245-258, 1994.
- WHITTIG, L. D.; ALLARDICE, W. R. X-ray diffraction techniques. In: KUTER, A., ed. **Methods of soil analysis**. Part 1. Physical and mineralogical properties. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.331-362.
- WHO. World Health Organization. **WHO air quality guidelines global update 2005** – Meeting report. 2005. Disponível em: <http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/147851/E87950.pdf>. Acesso em: 08/07/2019.
- Wickham, H. 2016. **Ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. Springer-Verlag New York. Disponível em: <<http://ggplot2.org>> Acesso em: 09 dez. 2020.
- Wickham, H.; Bryan, J. 2018. **Readxl: Read Excel Files**. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=readxl>> Acesso em: 09 dez. 2020.
- Wickham, H.; FRANÇOIS, R.; HENRY, L.; MÜLLER, K. 2018. **Dplyr: A Grammar of Data Manipulation**. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>> Acesso em: 09 dez. 2020.
- Wickham, H.; Henry, L. 2018. **Tidyr: Easily Tidy Data with 'Spread()' and 'Gather()' Functions**. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=tidyr>> Acesso em: 09 dez. 2020.
- WILLIS, E.O. The composition of avian communities in remanescent woodlots in Southern Brazil. **Pap. Avul. Zool.**,v. 33, p. 1-25, 1979.
- WILSON, E. O.; MACARTHUR, R. H. The theory of island biogeography. **Princeton university press**, 1967.
- WOLFF, A. P. **Caracterização de Rejeitos de Minério de Ferro de Minas da Vale**. 2009. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Faculdade de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2009.

- XIA, S. W.; CHEN, J.; SCHAEFER, D.; GOODALE, U. M. Effect of topography and litterfall input on fine-scale patch consistency of soil chemical properties in a tropical rainforest. **Plant. Soil**, v.404, p.385-398, 2016.
- YOUNG, J. K.; OLSON, K. A.; READING, R. P.; AMGALANBAATAR, S.; BERGER, J. Is wildlife going to the dogs? Impacts of feral and free-roaming dogs on wildlife populations. **BioScience**, v. 61, n. 2, p. 125–132, 2011.
- ZILLER, S. **Espécies exóticas da flora em unidades de conservação**. In: CAMPOS, J. B. et al. (Orgs.). Unidades de conservação: Ações para valorização da biodiversidade. Instituto Ambiental do Paraná. 2005.
- ZOCHE, J. J.; LEFFA, D. D.; DAMIANI, A. P.; CARVALHO, F. MENDONÇA, R. A.; SANTOS, C. E. I.; BOUFLEUR, L. A.; DIAS, J. F.; ANDRADE, V. M. Heavy metals and DNA damage in blood cells of insectivore bats in coal mining areas of Catarinense coal basin, Brazil. **Environmental research**, v. 110(7), p. 684-691, 2010.

7 GLOSSÁRIO

Abióticos: Elementos e componentes não bióticos de um sistema (p.ex. rochas, atmosfera).

Abundância: Número de indivíduos da população de uma espécie em determinado habitat.

Adequabilidade Climática: Conjunto de condições climáticas que permite a ocupação de um ambiente pela biota.

Altitude Ortométrica (h): é a distância vertical de um ponto, situado sobre a superfície terrestre, em relação a um geoide de referência.

Altitude Elipsoidal (h): é a distância vertical de um ponto a um elipsoide de referência. As altitudes indicadas pelos receptores dos Sistemas de Posicionamento Global (GPS), por exemplo, são do tipo elipsoidal.

Ambiente Bentônico: domínio referente ao substrato de sistemas aquáticos.

Ambiente Pelágico: domínio referente às massas d'água.

Ambiente Recifal: Ambiente associado a recifes de coral.

Ambiente-Matriz: Ambiente ou hábitat dominante de uma paisagem.

Ambientes Fluviais: relacionam-se os rios, que são cursos naturais de água doce, na maioria das vezes com canais definidos e fluxos permanente ou sazonal, que migram em direção a um oceano, lago ou outro rio. Rios são caracterizados por correntes unidirecionais, com velocidades médias de fluxo variando entre 0,1 a 1,0 m/s. Geralmente, ocorre a mistura completa e contínua em rios, devido a correntes e à turbulência.

Ambientes Transicionais: ambiente de transição entre o ambiente continental e o ambiente marinho raso.

Análise de Componentes Principais (PCA): é indicada para conjuntos correlacionadas linearmente, o que permite reduzi-las a poucas variáveis sintéticas, denominadas componentes principais. Os eixos ou autovalores são extraídos de modo que o primeiro explique a maior parte da variância, o segundo explique a maior parte da variância residual, e assim, sucessivamente.

Análise de Coordenadas Principais (PCoA): é uma generalização da análise de componentes principais (PCA), na qual os eixos ou autovalores são extraídos de uma matriz de similaridade ou de distâncias. A principal vantagem é que esta técnica pode ser aplicada quando as relações entre as variáveis não são lineares.

Análise de Permutação Multivariada (PERMANOVA): A análise de variância multivariada por método de permutação (análise estatística não paramétrica) é utilizada para comparar vetores, baseada em qualquer medida de distância ou dissimilaridade.

Análise de Variância (ANOVA): trata-se de um método estatístico paramétrico, que permite realizar comparações simultâneas entre duas ou mais médias, ou seja, permite testar hipóteses sobre **médias** de distintas populações ou comunidades.

Análise de Variância Fatorial (ANOVA factorial): quando a comparação entre as médias (teste de variância) foi verificada pela influência de mais de um fator e pela interação entre eles

Análise de Variância Unifatorial (ANOVA one -way): quando a comparação entre as médias (teste de variância) foi verificada pela influência de um fator

Aninhamento: Padrão ecológico de distribuição de espécies em metacomunidades, representando o subconjunto de espécies de um local como parte do conjunto maior de espécies da região.

Anóxia: Indica a completa ausência de oxigênio em um ambiente.

Antrópico(a): que se originou da ação do homem.

Anuros: Ordem de animais da classe Amphibia; inclui sapos, rãs e pererecas (Anura).

Apendicular: Que reúne os ossos dos membros superiores, inferiores e elementos de apoio.

Arborícolas: Animais cujos hábitos de vida ocorrem principalmente nas árvores.

Arboviroses: Doenças causadas por arbovírus, que incluem o vírus da dengue, zika vírus, febre chikungunya e febre amarela.

Área de Abrangência do Dano: abrangência geoespacial das repercussões ou efeitos do desastre que são causas de modificações nos vários componentes físicos, bióticos e antrópicos que caracterizam seu ambiente de referência.

Área de Estudo: delimitação de local ou região, objeto do levantamento de dados e análise ambiental, podendo variar a cada tema de estudo.

Área de Passagem e Deposição da Lama: área de passagem e/ou deposição do rejeito oriundo do rompimento da barragem de Fundão, desde o local do rompimento, no município de Mariana (MG), até a foz do rio Doce, em Regência (ES), além da região estuarina e marinha adjacente.

Arrasto de Plâncton: metodologia de amostragem, onde as redes de plâncton são arrastadas em trajetos diversos, como vertical, horizontal e oblíquo. A velocidade de arrasto pode ser variável.

Assembleias: Conjunto de diferentes espécies de um mesmo grupo de organismos, p.ex., assembleia de aves (grupamento das diferentes espécies de aves de uma região).

Assimetria Flutuante: Desvios aleatórios da simetria perfeita em estruturas bilateralmente pareadas.

Assintótica: Método de descrever o comportamento de limites matemáticos.

Assoreamento: Acúmulo de sedimentos.

Atingidos: refere-se às pessoas que sofreram algum dano advindo do desastre.

Autodepuração e Diluição: fenômenos através dos quais os cursos d'água se recuperam, por mecanismos naturais, após o lançamento de uma carga poluidora.

Avifauna: Conjunto das aves de uma região ou ambiente.

Bacia Hidrográfica: área principal de drenagem de um rio e seus afluentes.

Baixo Estuário: área de transição entre rio e mar que sofre grandes oscilações nos gradientes físico-químicos e influência direta da maré.

Banhado: Área de baixada em fundo de vales de regiões de morro onde há acúmulo de água de chuvas ou das cheias dos ribeirões e rios.

Beidou: é o sistema de navegação por satélite da China.

Bentônico: organismo associado ao fundo oceânico.

Bentos: (Do grego benthos: fundo do mar) são todas as espécies que vivem com íntima relação com o fundo, seja para fixar-se, escavar, caminhar ou nadar sob o fundo sem alojar-se nele;

Bilateralidade: Propriedade que descreve a divisão em duas partes de forma simétrica.

Bioacumulação: processo pelo qual contaminantes são absorvidos, através da exposição direta ou indireta, e armazenados (ao longo do tempo) por um organismo, em níveis superiores aos encontrados numa matriz ambiental externa. É o acúmulo de substâncias tóxicas nos tecidos dos organismos.

Biodisponibilidade: é a fração de um nutriente ou elemento potencialmente tóxico (como As, Pb, Cd, etc.) que está prontamente disponível para ser absorvido por um organismo alvo. No âmbito desse trabalho, refere-se especificamente à fração de maior labilidade desses elementos tóxicos para as plantas.

Biodiversidade: Conjunto de espécies, organismos e patrimônio genético, assim como ecossistemas, existentes em determinada região, incluindo suas interações e propriedades emergentes desses conjuntos.

Bioindicador: espécies, grupo de espécies ou comunidades biológicas cuja presença, abundância e condições são indicativos biológicos de uma determinada situação ambiental.

Biomagnificação: é o aumento da concentração (e consequentemente da toxicidade) de uma determinada substância na parte mais alta da cadeia trófica;

Biomarcadores: alterações mensuráveis, em diferentes níveis da organização biológica, que evidenciam a exposição, susceptibilidade e /ou efeitos tóxicos de poluentes (agentes estressores) presentes no ambiente.

Biomonitoramento: Utilização de seres vivos como ferramenta para mensurar a qualidade ambiental.

Biota: Conjunto de seres vivos, que habitam um determinado ambiente.

Bióticos: Elementos e componentes constituídos pelos seres vivos e suas interações.

Bioturbação - Bioturbadores: Retrabalho de solos e sedimentos por organismos vivos.

Box plot: É um tipo de gráfico que representa a mediana e os quartis de um conjunto de dados, onde é possível ter uma noção dos dados discrepantes, da posição, da dispersão e assimetria da distribuição.

Cabruca: Sistema agroflorestal de produção no qual ocorre o plantio no sub-bosque, principalmente de cacau, ao tempo em que se mantém a estrutura arbórea nativa da região.

Cadeia Alimentar ou Cadeia Trófica: relação trófica que ocorre entre os seres vivos que compõem um ecossistema, na qual a energia de um organismo se transfere ao outro, por uma relação de alimentação.

Cágados: grupo de quelônios de água doce dotados de recolher o pescoço e a cabeça lateralmente sob a carapaça.

Calcófilos: Elementos afins ao enxofre.

Caméfitos: São plantas sublenhosas e/ou herbáceas predominantemente de áreas campestres pantanosas com até um metro de altura, providas de gemas situadas acima do solo e protegidas por catáfilos ou por folhas verticiladas.

Cervical: Região da coluna vertebral de maior mobilidade, alocado na região do pescoço.

Cetáceos: Infraordem de animais marinhos, pertencentes à classe dos mamíferos (Cetacea).

Ciclagem: corresponde ao ciclo de renovação da matéria orgânica na natureza, realizada principalmente pelos decompositores, como fungos.

Cladóceros ou Cladocera: grupo de crustáceos aquáticos e microscópicos

Clorofila-a: Pigmento fotossintético presente em plantas e fitoplâncton, parte do processo de respiração celular destes organismos.

Complexo Lacustre do Médio Rio Doce: densa rede de lagoas, originadas pelo barramento natural dos tributários do rio Doce, distribuídas ao longo de toda a região do médio rio Doce, à montante e a jusante da confluência com o rio Piracicaba (IEF-MG, 2008).

Comportamento Nerítico: organismo que habita a região que se estende da linha de maré até a quebra da plataforma continental.

Composição de Espécies: inclui o número de espécies que estão presente em uma comunidade, bem como a abundância da espécies (estrutura da comunidade).

Comunidades Biológicas: Comunidades vegetais ou animais que habitam uma região.

Conectividade Funcional: Interação entre características comportamentais e físicas dos organismos com estruturas da paisagem que definem o deslocamento da fauna nessa paisagem.

Copépodes ou Copepoda: grupo de crustáceos aquáticos e microscópicos.

Copepodito: estágios jovens de copépodes.

Corpos d'água: Acumulação significativa de água.

Covo: tipo de armadilha aquática composta por uma armação cilíndrica envolta por rede e com duas entradas em forma de funil em suas extremidades. Também conhecido por Jequi.

Criptófitos: Plantas herbáceas com gemas protegidas abaixo do nível do solo.

Culicídeos: Família de insetos (Culicidae).

Curva de Acumulação de Espécies: Número cumulativo de espécies detectados em determinado ambiente em função do esforço cumulativo em amostras.

Curvas de Rarefação: Técnica estatística para avaliar a tendência de incremento de espécies em função do esforço amostral.

Dados Logaritmizados: quando algum dos requisitos para o emprego da estatística paramétrica (por ex., normalidade da distribuição dos erros, homogeneidade das variâncias) não puder ser preenchido pelos dados da amostra, é possível transformar os dados (por ex. transformação logarítmica, raiz quadrada, percentual), antes de optar pela aplicação da estatística não-paramétrica.

Dados Secundários: Informações advindas de bases de dados já disponíveis, como da literatura ou de acervos técnicos.

Dano Ambiental: alteração da condição do ambiente e/ou de seus componentes, causada pelo desastre, em relação à linha-base.

Datum Horizontal: referência para coordenadas planimétricas (x e y).

Datum Vertical: referência altitude ortométrica (0 metros), Imbituba – SC.

Datum: é um sistema de referência utilizado para o cômputo ou correlação dos resultados de um levantamento.

Demersal: peixes que passam a maior parte do tempo em contato com o fundo do mar.

Desastre: resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema vulnerável (MIN, 2007).

Didelfídeos: Família à qual pertencem os gambás (Didelphidae).

Dilution of Precision (PDOP): degradação da precisão da posição tridimensional.

Dissimilaridade: Descreve a diferença, ou distinção, entre duas ou mais coisas. No âmbito da ecologia de comunidades, índices de dissimilaridade buscam computar a magnitude da diferença de composição entre assembleias sendo comparadas.

Distribuição Espacial: Distribuição de algo em relação ao ambiente geográfico em que se encontra.

Diversidade Alfa: Número total de espécies em um habitat.

Diversidade Beta: Descreve a complementação de espécies ao longo de um gradiente ambiental ou entre diferentes ambientes de uma região.

Diversidade Biológica: Conjunto de diferentes seres vivos em um ambiente.

Diversidade de Espécies: é o número de diferentes espécies que estão representadas numa dada comunidade. A diversidade de espécies consiste em dois componentes: riqueza específica e equitabilidade.

Diversidade Funcional: Forma de descrever uma assembleia de espécies em função de seus atributos morfológicos e comportamentais.

Dominância de Espécies: refere-se a dominância de uma ou mais espécies em uma determinada comunidade, habitat ou região.

Dossel: É a parte formada pelas copas das árvores que formam o estrato superior da floresta.

Doubletons: Espécies representadas, em uma amostra, por exatamente dois indivíduos.

Dulcícola: organismo ou ambiente associado a águas doces (continentais).

Ecossistema: sistemas naturais ou artificiais, limitados por um espaço físico onde interagem os componentes vivos e não vivos, caracterizando determinadas estruturas e funções.

Ecotoxicologia: é o estudo dos efeitos tóxicos, quali e quantitativos, de modo integrado, de agentes químicos, físicos e biológicos sobre organismos vivos (aquáticos ou terrestres), incluindo suas interações com o ambiente (TRUHAUT, 1975).

Ectoparasitos: Parasitas que se instalam fora do corpo do hospedeiro.

Ectotérmico: Animais cuja temperatura corporal varia de acordo com as condições ambientais de temperatura.

Edáfico: Relativo ao solo.

Elementos Potencialmente Tóxicos (EPTs): normalmente são metais sólidos (e.g., Pb e Cd) ou líquidos (e.g., Hg) à temperatura ambiente, mas podem ser também semi-metais (e.g., As e Sb). A principal característica comum dos EPTs é sua alta toxicidade aos animais e lenta degradabilidade ambiental, com crescente acúmulo na cadeia trófica. Alguns EPTs, em baixas concentrações, são essenciais aos

organismos vivos, como Fe, Mn, Cu, Ni e Zn. Já a grande maioria dos EPTs, mesmo em baixas concentrações, causa efeitos deletérios à saúde animal. Ag - prata; Al - alumínio; As - arsênio; Ba - bário; Cd - cádmio; Cr - cromo; Cu - cobre; Hg - mercúrio; Fe - ferro; Mn - manganês; Mo - molibdênio; Ni - níquel; Pb - chumbo; Sb - antimônio; V - vanádio; Zn - zinco.

Elipsóide de Revolução: Sólido geométrico gerado pela rotação da elipse em torno do seu semieixo menor. É a superfície matemática adotada pelos geodestas para todos os cálculos geodésicos.

Endemismo: Propriedade que define a área geográfica na qual determinada espécie naturalmente ocorre, p.ex., endemismos da Mata Atlântica.

Entomofauna: Conjunto de insetos de uma região ou ambiente.

EOMAP: Empresa alemã provedora de informação derivada de sensoriamento remoto aquático.

Eipelágicos: peixes que habitam águas que vão até cerca de 200 metros de profundidade.

Eiplanctônico: plâncton que habita os primeiros 200 metros da coluna de água.

Equitabilidade ou Uniformidade ou Equitatividade: distribuição da abundância das espécies em uma comunidade. Com efeito, reflete o grau de dominância da espécie.

Espécie endêmica: espécie que ocorre somente em uma determinada região geográfica, em lugares específicos.

Espécie Exótica: Espécie originária de meio diverso daquele em que vive. É essência natural de outros países ou regiões do país. Espécies que se encontram fora de sua distribuição natural.

Espécie Exótica Invasora: Espécie exótica cuja introdução ou dispersão ameace ecossistema, habitat ou espécies e cause impactos negativos ambientais, econômicos, sociais ou culturais

Espécie Nativa: Espécie que naturalmente ocorre em determinada região.

Estado Trófico: estado nutricional do ambiente, que reflete a quantidade de matéria orgânica disponível no ambiente aquático.

Estolões: Tipo de caule que cresce paralelamente ao chão, produzindo gemas de espaço em espaço. Essas gemas podem formar raízes e folhas e originar novas plantas.

Etologia: Estudo científico do comportamento social e individual dos animais no seu ambiente natural.

European Space Agency (ESA): Agência espacial europeia.

Eutanásia: Ato intencional de proporcionar a morte indolor a um indivíduo.

Eutrofização: acúmulo de matéria orgânica em corpos d'água, podendo ser de origem natural ou antrópica, que acarreta no aumento da biomassa fitoplanctônica. Este grande aumento da biomassa de organismos fotossintetizantes causa a diminuição do oxigênio disponível e, conseqüentemente, o aumento da biomassa de bactérias anaeróbicas.

Exotróficos: Organismos que obtém energia a partir de outros organismos.

Exsicata: É uma amostra de planta prensada e em seguida seca numa estufa (herborizada), fixada em uma cartolina de tamanho padrão acompanhadas de uma etiqueta ou rótulo contendo informações sobre o vegetal e o local de coleta, para fins de estudo botânico.

Extinção: Desaparecimento definitivo de um ser vivo.

Fatores Abióticos: característico de algo que não possui vida, como os componentes físicos e químicos.

Fatores Bióticos: o que é característica dos seres vivos ou está vinculado a estes.

Fauna: Termo coletivo para a vida animal de determinada região.

Fertilidade do Solo: envolve as propriedades químicas, físico-químicas e biológicas do solo que influenciam a dinâmica e a disponibilidade de nutrientes, elementos benéficos, tóxicos e outros às plantas.

Filogenética: Relação evolutiva entre grupos de organismos.

Filostomídeos: Família de morcegos encontrada em regiões tropicais e subtropicais (Phyllostomidae).

Flora: Vida vegetal.

Fluvial: Referente aos rios ou cursos d'água.

Fluxômetro: é um aparelho utilizado para quantificar o volume de água que passa através de uma rede de plâncton. Um rotor de três lâminas é acoplado diretamente a um contador de cinco dígitos o qual registra as revoluções do rotor.

Formação Ferrífera Bandada – BIF: Rocha sedimentar ou metassedimentar química ou vulcanoquímica finamente estratificada, apresentando camadas de óxidos, carbonatos ou silicatos de ferro rítmicamente alternadas com camadas diferenciadas destas (quartzosas, anfibólicas, quartzo cloríticas). Podem desenvolver depósitos de ferro economicamente exploráveis como ocorre no Brasil com as jazidas de itabiritos de Minas Gerais, por exemplo. A deposição destas camadas teve um apogeu do Neo-arqueano ao Paleo-proterozóico, provavelmente devido ao enriquecimento em O_2 da atmosfera neste período o que levou a oxidação de ferro em solução ($Fe^{+2} \rightarrow Fe^{+3}$) e precipitação de colóides de hidróxidos ferruginosos em camadas alternadas com sílica coloidal no fundo dos mares daquelas épocas.

Forrageamento: Atividade comportamental que descreve a exploração e obtenção de recursos alimentares.

Fossoriais: Modo de vida que contempla o uso de ambientes do subsolo ou serapilheira, por meio de escavações e uso de galeria subterrâneas.

Frugívoros: Animais cuja dieta alimentar é composta principalmente de frutos.

GALILEO: é o sistema de navegação por satélite da União Europeia.

Generalistas: Espécies que apresentam ampla plasticidade na busca de hábitos alimentares e ocupação de habitat. Contempla espécies que conseguem se adaptar a diversas condições ambientais.

Geoprocessamento: Processamento de dados geográficos.

Glândula Uropigial: Glândulas das aves que sintetizam gordura, a qual é usada com o bico com a finalidade de impermeabilizar as penas.

Global Navigation System (GLONASS): é um sistema de navegação por satélite (GNSS) russo.

Global Positioning System (GPS): é um mecanismo de posicionamento por satélite que fornece a um aparelho receptor móvel a sua posição, assim como o horário, sob quaisquer condições atmosféricas, a qualquer momento e em qualquer lugar na Terra; desde que o receptor se encontre no campo de visão de três satélites GPS (quatro ou mais para precisão maior).

Granívoras: Animais cuja dieta alimentar é composta principalmente de sementes.

Greenstone Belt: Cinturão de rochas verdes representadas por xistos máficos e ultramáficos, intercalados com BIF, chert e rochas vulcanoquímicas diversas, de baixo grau metamórfico, entre estruturas dômicas de granitóides muito comuns em áreas arqueanas, representando em grande parte restos de crosta oceânica constituída por magmatismo, muitas vezes komatiítico.

Guildas alimentares: Conjunto de espécies que compartilham um mesmo hábito alimentar, p.ex., guilda de aves frugívoras.

Habitat: Área ecológica ou ambiental que é habitada por determinados organismos.

Heatmap: mapas de calor, que empregam cores frias e quentes para representar, graficamente, comportamentos generalizados.

Heliotérmicos: Organismos que utilizam o calor proveniente dos raios solares para manter sua temperatura corporal.

Hemicriptófitos: Plantas herbáceas com gemas protegidas no nível do solo pelos céspedes que morrem na estação climática desfavorável, com predominância em áreas campestres.

Herbáceas: São plantas com caule não lenhoso ou semi-lenhoso.

Herpetofauna: Conjunto de anfíbios e répteis de uma região.

Hidromorfia: Referente aos solos inundados, encharcados e definidos pelo excesso de umidade.

Holoplâncton: organismos que permanecem todo o seu ciclo de vida no plâncton.

Ictiofauna: Conjunto de peixes de uma região.

Indicador hidrológico: espécie que reflete as condições hidrológicas do ambiente em que se encontra.

Indicadores Ambientais: parâmetros representativos de processos ambientais ou do estado do meio ambiente que, se monitorados e avaliados continuamente em um mesmo local, apresentam a tendência de evolução do ambiente ou parâmetro analisado (SÁNCHEZ, 2008).

Índice de Linearidade: Métrica de ecologia de paisagem que descreve o quanto um corredor de deslocamento de fauna se aproxima a uma linha reta.

Insetívoros: Animais que se alimentam de insetos e outros artrópodes.

Itabirito: rocha bandada, alternando níveis milimétricos a centimétricos de hematita (+-magnetita) com níveis silicáticos, geralmente de quartzo. É um BIF ou formação ferrífera bandada metamorfsada.

Jusante: é todo ponto em que o referencial é o fluxo normal do curso d'água, para onde se dirige a corrente, em direção à foz do rio. Parte mais baixa de um rio, próximo a desembocadura na região costeira.

Laguna: Refere-se a uma depressão formada por água salobra ou salgada, localizada na borda litorânea, comunicando-se com o mar através de canal.

Larva Véliger: larva planctônica que eclode com estruturas corporais como pé, concha e véu.

Lênticos: São ambientes aquáticos de água parada, como por exemplo, lagoas, lagos, pântano, etc.

Limícolas: São um grupo diverso de aves que ocupam ambientes aquáticos rasos.

Limite de Quantificação (LQ): a menor quantidade do analito em uma amostra que pode ser determinada com precisão e exatidão aceitáveis sob as condições experimentais estabelecidas.

Límnica: sinônimo de dulcícola.

Linha-base: estado do ambiente e/ou de seus vários componentes físicos, bióticos e antrópicos imediatamente anterior ao desastre, ou o estado em o que o ambiente e/ou seus componentes estariam caso não houvesse ocorrido o desastre.

Lipoperoxidação: a oxidação de lipídios, ou lipoperoxidação, consiste em uma cascata de reações resultantes da ação dos radicais livres (oxigênio molecular) sobre os lipídios (gorduras).

Lóticos: São ambientes aquáticos de água corrente, como por exemplo rios, nascentes, ribeiras e riachos. Têm como principal característica o fluxo hídrico, que influencia diretamente as variáveis físico-químicas da água e as comunidades biológicas presentes.

Macrófitas Aquáticas: Plantas aquáticas que vivem em ambientes inundados, flutuantes ou enraizadas.

Macroinvertebrados Bentônicos: invertebrados que habitam os substratos de fundo de ambientes aquáticos em pelo menos parte de seu ciclo de vida e que ficam retidos em redes com abertura de malha entre 200 e 500 μm .

Mananciais: Fontes de água, que podem ser utilizadas para o abastecimento urbano.

MapGeo2015: é um sistema que fornece a ondulação geoidal (N) necessária à conversão de altitudes elipsoidais, obtidas com os Sistemas de Navegação Global por Satélite (GNSS), em altitudes ortométricas.

Mastofauna: Conjunto de mamíferos de uma região.

Matriz de Distância: matriz (*array* bidimensional) contendo as distâncias, tomadas em pares, de um conjunto de dados.

Máximo ou Mínimo Histórico: para variáveis de qualidade de água, esses termos foram sempre utilizados em referência ao período de linha-base.

Mediana: em termos mais simples, mediana pode ser o valor do meio de um conjunto de dados. A vantagem da mediana em relação à média é que a mediana pode dar uma ideia melhor de um valor típico porque não é tão distorcida por valores extremamente altos ou baixos, como a média.

Mediolitoral: Faixa da zona entremarés coberta e descoberta diariamente pelas marés.

Meio Biótico: Conjunto de flora e fauna e demais organismos.

Meridiano Central: Longitude de origem de cada fuso no sistema de coordenadas da projeção UTM.

Meroplâncton: organismos que permanecem no plâncton apenas na fase inicial do seu ciclo de vida.

Mesopelágicos: peixes que habitam águas que vão até cerca de 1000 metros de profundidade.

Mesopredadores: Predadores de porte médio que se encontram no meio da cadeia trófica, tipicamente predando pequenos animais.

Microcrustáceos: crustáceos microscópicos que vivem no zooplâncton. São representados pelos cladóceros e copépodos e estão distribuídos nas regiões de margem e meio dos ambientes aquáticos.

Microhábitats: Descreve as características microambientais de determinado hábitat, constituída por atributos como sombreamento, temperatura, umidade, estrutura vegetal, entre outros.

Modular Inversion Processing System (MIP): Sistema desenvolvido pela empresa EOMAP para correção atmosférica e cálculo de parâmetros indicadores de qualidade da água.

Montante: é a direção de um ponto mais baixo para um ponto mais alto de um curso d'água, em direção à nascente do rio.

Morfodinâmicos: Conceito associado ao intemperismo atual. São processos mais restritos, tanto no tempo quanto no espaço, sujeitos a oscilações ou ritmos dos principais agentes naturais, como as chuvas, considerando as modificações impostas pelo ser humano no processo de apropriação do relevo.

Morfotipo: características morfológicas que distinguem organismos da mesma espécie.

Nanofanerófitos: Plantas anãs raquíticas, variando entre 0,25 e 5 m de altura, com predominância nas áreas campestres do Brasil.

National Aeronautics And Space Administration (NASA): Agência Espacial dos Estados Unidos.

Nativa: Espécie original daquela região que vive.

Náuplio: estágios larvais de copépodes

Nectônicos: animais aquáticos que se locomovem ativamente na coluna de água.

Neotropical: Região biogeográfica que compreende a América Central, incluindo a parte sul do México e da península da Baja California, o sul da Florida, todas as ilhas do Caribe e a América do Sul.

Nicho: papel ecológico de uma espécie em uma comunidade, ou gama total das condições sobre as quais o indivíduo ou a população vive e se reproduz.

Níveis Tróficos: relacionados à cadeia alimentar, iniciando em produtores, passando por consumidores intermediários, consumidores finais ou topo de cadeia e decompositores, formando um ciclo.

Oligo-Mesotrófico: ambiente de pouco a moderadamente, enriquecido por nutrientes.

Ondulação Geoidal (N): é a diferença entre a altitude elipsoidal e a altitude ortométrica.

Onívoras: Animais que se alimentam de recursos de origem vegetais e/ou animal.

Oportunística: condizente a um acontecimento ocasional, proporcionado por alguma atividade relacionada.

Osteichthyes: grupo dos peixes ósseos.

Paragênese Mineral: Conjunto de minerais em rochas ígneas ou em rochas metamórficas que, por evidências petrográficas e outras, mostram ter evoluído associadamente em equilíbrio geoquímico e termodinâmico.

Parâmetros: É um valor, oriundo de uma variável ou expressão mais complexa.

Patrimônio Cultural: Bens reconhecidos pela importância cultural de uma região.

Pedogenéticos: Transformação do solo, por meio de dois fatores climáticos e por microrganismos.

Perda Ambiental: lesões aos recursos ou serviços ambientais, causadas pelo desastre, que geram prejuízo significativo à sociedade.

Planctóforo: organismo que se alimenta de plâncton.

Planícies Aluviais ou Aluvionares: São formações geológicas que se caracterizam por serem planas ou muito pouco inclinadas. Formam-se pela deposição ao longo do tempo de sedimentos trazidos por um ou mais rios.

Planos de Manejo: Documentos de planejamento das unidades de conservação.

Plasticidade Ambiental: Descreve a capacidade dos organismos a se adaptarem a diferentes estímulos e condições ambientais. Quanto maior a plasticidade ambiental, mais tolerante é aquele organismo às variações em seu ambiente.

Plastrão: porção inferior da carapaça que recobre o corpo dos quelônios.

Plataforma Continental: leito marinho que começa na linha de costa e desce com um declive suave até o talude continental.

Playback: Processo de sonorização que utiliza uma gravação para emissão de vocalizações.

Polinização: Processo de transferência de pólen entre as flores, que pode ser regulado por agentes bióticos (p.ex. morcegos, insetos) ou abióticos (p.ex. vento).

Pontos de Controle: são pontos fora da área afetada pelo rejeito de Fundão, com condições similares às áreas afetadas, utilizadas para comparação.

Posicionamento Relativo Estático Rápido: O posicionamento relativo estático-rápido é similar ao relativo estático, porém, a diferença básica é a duração da sessão de rastreo, que neste caso, em geral é inferior a 20 minutos.

Posicionamento Relativo Estático: No posicionamento relativo estático, tanto o(s) receptor(es) do(s) vértice(s) de referência quanto o(s) receptor(es) do(s) vértice(s) de interesse devem permanecer estacionados (estáticos) durante o levantamento. Neste método, a sessão de rastreo se estende por muitas horas, a depender da distância entre o receptor base e o rover.

Posicionamento Relativo: No posicionamento relativo, as coordenadas do vértice de interesse são determinadas a partir de um ou mais vértices de coordenadas conhecidas. Neste caso é necessário que dois ou mais receptores GNSS colem dados simultaneamente, onde ao menos um dos receptores ocupe um vértice de referência. No posicionamento relativo podem se usar as observáveis: fase da onda portadora, pseudodistância ou as duas em conjunto. Sendo que a fase da onda portadora proporciona melhor precisão e por isso ela é a única observável aceita na determinação de coordenadas de vértices de apoio e vértices situados em limites artificiais. O posicionamento relativo utilizando a observável pseudodistância só é permitido para a determinação de coordenadas de vértices situados em limites naturais.

Pressuposto de Homocedasticidade: é um pressuposto que verifica se as variâncias em cada grupo de dados são, aproximadamente, iguais. Caso seja atendido, a análise pode ser realizada.

Pressuposto de Normalidade: é um pressuposto que verifica se os dados possuem uma distribuição, aproximadamente, normal. Caso seja atendido, a análise pode ser realizada.

Processos Erosivos: Retirada ou transporte de sedimentos da superfície do solo.

Quelônios: grupo faunístico composto por répteis com o corpo revestido por carapaça óssea (Chelonia) que recobre o corpo.

Quiropterofauna: Conjunto de morcegos de uma região.

Real Time Kinematic (RTK) ou Posicionamento Cinemático em Tempo-Real: é uma técnica de posicionamento e navegação GNSS, baseia-se na transmissão instantânea de dados de correções dos sinais de satélites, do(s) receptor(es) instalado(s) no(s) vértice(s) de referência ao(s) receptor(es) que percorre(m) os vértices de interesse. Desta forma, proporciona o conhecimento em tempo real de

coordenadas precisas dos vértices levantados. O posicionamento pelo RTK pode ser feito pelo método convencional ou em rede.

Receptor Base: receptor o qual fica estático (parado) em uma coordenada conhecida.

Receptor Rover: receptor o qual fica se deslocando ao longo do trabalho com o objetivo de obter coordenadas precisas dos pontos ou vértices onde ele será estacionado.

Recurso Alimentar: qualquer componente do ambiente que pode ser utilizado como alimento e potencialmente esgotado por organismo.

Recursos Naturais: Aquilo que é necessário ao homem e se encontra na natureza.

Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC): é um conjunto receptores GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*), também chamados de estações de referência, que possuem alta capacidade para rastrear satélites de forma contínua. Tais receptores possuem alta precisão e alto desempenho, sendo que suas observações para a determinação de coordenadas são disponibilizadas em arquivos diários ou em tempo real. Desde 1996, o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) junto com o seu departamento de Geodésia estabeleceu a RBMC, promovendo a aplicação em diferentes áreas em todo território brasileiro.

Rede de Plâncton: redes de filtração de água de água com poro reduzido (μm). É o aparato mais comum de obtenção de amostras de plâncton, e são produzidas em várias formas e tamanhos.

Redes Tróficas: Interligação natural de cadeias alimentares.

Região da Plataforma: áreas submersas pelo mar, com declive suave que se estende da linha de costa até 200 metros de profundidade em direção ao talude.

Região do Talude: declive acentuado do fundo do mar após a plataforma continental, partindo dos 200 metros até cerca de 3500 metros de profundidade, em direção a região oceânica.

Região Estuarina: área de transição entre rio e mar que sofre grandes oscilações nos gradientes físico-químicos e influência direta da maré.

Região Fitoecológica: Compreende um espaço definido por uma florística de gêneros típicos e de formas biológicas características que se repetem dentro de um mesmo clima, podendo ocorrer em terrenos de litologia variada, mas com relevo bem marcado.

Região Nerítica: região que se estende da linha de maré até a quebra da plataforma continental.

Região Oceânica: região que se estende após a quebra da plataforma continental.

Rêmiges: Penas de voo das asas das aves.

Réplicas Amostrais: são amostras obtidas mais de uma vez de uma mesma comunidade no mesmo espaço e tempo.

Reprodução Partenogenética ou Reprodução por Partenogênese: tipo de reprodução assexuada (sem a presença de sexo) de animais em que o embrião se desenvolve de um óvulo sem ocorrência da fecundação.

Resiliência: capacidade de um sistema em retornar a algum estado de referência após uma perturbação.

Retrizes: Penas de voo da cauda das aves.

Riqueza de Espécies: número de espécies que ocorre em uma amostra de uma comunidade.

Rodolitos: tipo de alga calcária que não se fixa a um substrato.

Rotíferos ou **Rotifera:** Filo de animais aquáticos e microscópicos.

Sazonal: relativo à estação do ano.

Sedimento: todo material não consolidado, constituído por partículas de diferentes tamanhos, formas e composição química, transportadas por água, ar ou gelo, distribuído ao longo dos vales do sistema de drenagem e orientado a partir da interação constante dos processos de intemperismo e erosão (MOREIRA; BOAVENTURA, 2003 apud MARTINS, 2008).

Série Histórica: em relação a dados hidrológicos (quantitativos), contempla toda a série de dados independentemente de terem ocorrido antes ou após o rompimento da barragem de Fundão.

Serviços Ambientais: benefícios que as pessoas obtêm da natureza direta ou indiretamente, através dos ecossistemas, a fim de sustentar a vida no planeta.

Serviços Ecossistêmicos: contribuições dos ecossistemas à economia e bem estar.

Shapefile: Formato de arquivo contendo informações geográficas.

Short Wave Infrared (SWIR): Região do espectro eletromagnético que compreende os comprimentos de onda entre 1000 a 2500nm, normalmente utilizada nos sensores orbitais para medição da refletância atmosférica.

Siderófilos: Elementos afins ao ferro em ambiente magmático.

Sinclinal: dobra com convexidade para baixo, quando conhecidas suas relações estratigráficas, ou seja, rochas mais novas encontram-se no seu núcleo. Com a atuação progressiva dos processos erosivos, as regiões de sinclinais (onde a mesma camada é mais baixa do que nas anticlinais associadas) tendem a formar relevos positivos, enquanto que às de anticlinais, frequentemente desventradas por erosão, formam as partes baixas do relevo.

Singletons: Espécies encontradas por somente um indivíduo em uma amostra.

Sistema Geodésico de Referência (SGR): é um sistema de coordenadas associado a algumas características terrestres.

Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS): sigla em inglês para *Global Navigation Satellite System* – além da navegação, é utilizado para determinar a posição de um objeto na terra (coordenadas). Para tanto, são necessários no mínimo 04 satélites para se determinar as seguintes variáveis: x, y, z e tempo. A precisão dessa coordenada é definida de acordo com a técnica de posicionamento utilizada durante a coleta de dados. O GNSS é visto como uma evolução natural do já popular sistema de posicionamento americano, o GPS. Atualmente fazem parte do GNSS além do GPS, o sistema russo GLONASS, o europeu GALILEO e o chinês BEIDOU. Com vários sistemas de satélites, melhora-se a geometria das constelações e disponibilidade de sinal, garantindo assim uma maior integridade e confiança aos usuários do sistema.

Sítios Ramsar: Áreas úmidas com prioridade para proteção e uso sustentável.

Solos de Várzeas: são solos hidromórficos que ocupam áreas planas, baixas, de formação sedimentar recente e originados à montante. Logo, são associados a solos e rochas existentes na bacia acima da região de deposição. Os sedimentos trazidos pelos rios (argila, silte, areia, frações orgânicas) são

depositados seletivamente nesses solos em função do grau de energia. Verifica-se a oscilação ou estagnação do nível freático em seus horizontes em pelo menos uma estação do ano. É comum a evidência de mosqueados e/ou processos de gleização nesses solos. Dado a baixa cota em relação aos solos de terras altas, os solos de várzeas recebem adição contínua de nutrientes e mesmo de sedimentos.

Squamata: Ordem de répteis que inclui animais com escamas como as serpentes e os lagartos.

Sub-bacias: São áreas de drenagem dos tributários do curso d'água principal.

Sub-bosque: Conjunto de vegetação de baixa estatura que cresce abaixo do dossel florestal.

Sublitoral: Faixa da zona entremarés descoberta apenas nas marés mais baixas de sizígia.

Superfície de Resistência: Em ecologia de paisagens, é o atributo que se refere ao quanto um determinado uso de solo custa a ser transpassado pela fauna durante seus deslocamentos.

Supralitoral: Faixa da zona entremarés coberta apenas nas marés mais altas de sizígia.

Supressão de Vegetação: Retirada da vegetação para uso do solo.

Sustentabilidade: Conjunto de ideias e estratégias ecologicamente corretas.

Taxa: plural de táxon em latim.

Táxon: Unidade taxonômica definido dentro do sistema lineano de classificação dos organismos. Exemplos incluem espécies (p.ex. *Tapirus terrestris*), gêneros (p.ex. *Leopardus*), famílias (p.ex. Culicidae) e classes (p.ex. Aves).

Taxonomia: ramo da biologia que classifica os organismos através de sua história evolutiva.

Tecnossolo: solos cujas propriedades e pedogênese são dominadas por sua origem técnica. Esses solos contêm uma quantidade significativa (20% ou mais (m/m) nos primeiros 100 cm do perfil) de artefatos (materiais que são derivados de tecnologias humanas, incluindo materiais manufaturados e materiais naturais que foram escavados e transportados) ou ainda são solos que contêm uma camada contínua cimentada. Os Tecnossolos incluem solos de resíduos (aterros, lodo, cinzas e resíduos de mineração), solos pavimentados por material inconsolidado, solos com geomembranas e solos construídos. De forma geral, se referem a solos urbanos ou solos de mina.

Teia Trófica: conjunto de cadeia alimentares interconectadas em uma ecossistema.

Termorregulação: processo que algumas espécies da fauna, principalmente répteis, executam para obtenção de energia calorífica a partir da exposição ao Sol.

Terófitos: Plantas anuais, cujo ciclo vital é completado por sementes que sobrevivem à estação climática desfavorável, ocorrendo exclusivamente nas áreas campestres.

Turbidez: Medição da quantidade de luz que penetra o corpo d'água, indicando a quantidade de material em suspensão.

Turnover: Componente da diversidade beta que descreve a substituição de espécies entre diferentes regiões.

United States Geological Service (USGS): Serviço geológico dos Estados Unidos.

Universal Transversa De Mercator (UTM): utiliza um sistema de coordenadas cartesianas bidimensional para dar localizações na superfície da Terra. É uma representação de posição horizontal, isto é,

é utilizada para identificar os locais na Terra independentemente da posição vertical, mas difere do método tradicional de latitude e longitude, em vários aspectos.

Valor de Referência de Qualidade: é a concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo, sendo determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos. Os valores de referência de qualidade (VRQs) são definidos por órgãos ambientais estaduais ou federais, conforme a Resolução Conama nº 420/2009.

Variabilidade Genética: Alelos de um gene que variaram entre si na população.

Variáveis Bioclimáticas: Dados das condições climáticas de uma região que exercem influência no desenvolvimento dos seres vivos que ali habitam.

Vértice Geodésico: é um ponto fixado no solo, normalmente com uma chapa de ferro. Nela estão gravadas um código que remete a altitude, latitude e longitude daquele local.

Xeromórficas: Nome que se dá s plantas adaptadas a climas semiárido a desértico, ou então em regiões úmidas, mas salinas.

Zona de Amortecimento: Área estabelecida ao redor de uma unidade de conservação com o objetivo de filtrar os impactos negativos das atividades que ocorrem fora dela.

Zona de Transição: Onde são promovidas práticas sustentáveis de gestão de recursos.

Zona Núcleo: Zonas com dimensão adequada, dedicadas à conservação da natureza.

Zona Tampão: Região onde são realizáveis atividades de conservação da natureza.

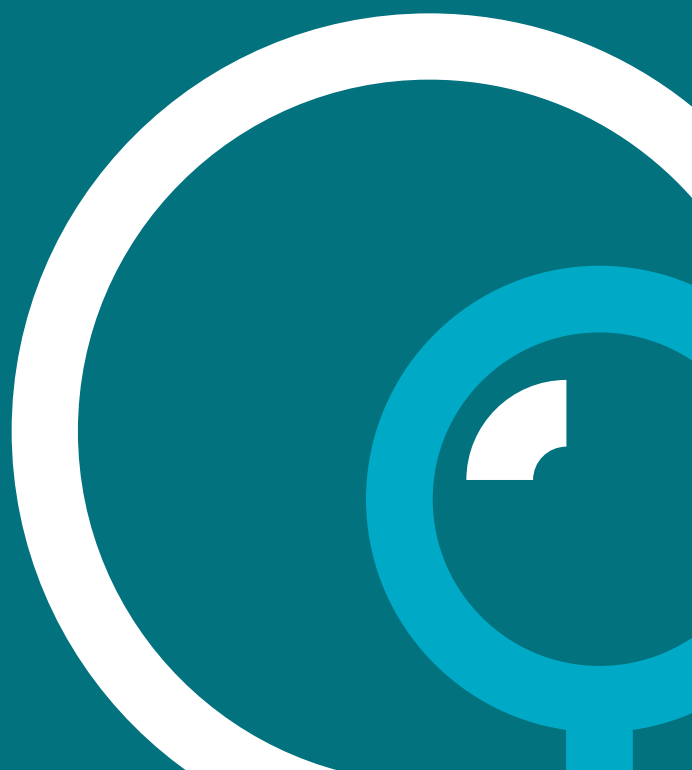
Zoonoses: Doenças infecciosas de animais capazes de ser naturalmente transmitidas para o ser humano.

Zooplâncton: comunidade de animais microscópicos que flutuam livremente nos corpos de água, sem nenhum ou quase nenhum movimento próprio.

Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da
barragem de Fundão na bacia do rio Doce e região costeira adjacente

Acompanhamento de danos TOMO III – Ambiente Terrestre e Atmosfera Documentos Suplementares

Lactec
Curitiba – Paraná – Brasil
Julho/2021



DOCUMENTOS SUPLEMENTARES

MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Introdução

O manejo de resíduos sólidos engloba a coleta de resíduos, o seu transporte e a sua correta disposição final, sendo que a coleta e a correta destinação final dos resíduos, possuem indicadores bastante distintos em termos de qualidade e abrangência dos serviços entre as áreas urbanas e rurais do Brasil.

Segundo o Atlas Nacional Milton Santos (IBGE, 2010), a coleta de resíduos apresenta, para as áreas urbanas, a maior cobertura entre os serviços abrangidos pelo saneamento básico, em que 97,8% dos domicílios são atendidos por coleta de resíduos sólidos; já para as áreas rurais, a realidade é bastante diferente, ou seja, a cobertura por coleta domiciliar de resíduos sólidos é bem menor, apenas 28,8% dos domicílios são atendidos por coleta de resíduos sólidos. Por outro lado, a disposição final adequada destes resíduos apresenta uma situação bem mais precária, em que grande parte do lixo produzido no país ainda é disposto em lixões, em condições inadequadas à saúde humana e do meio ambiente. A atualização do Atlas Nacional Milton Santos - Saneamento básico na zona urbana e rural (IBGE, 2015) demonstra que, de forma geral, a discrepância permanece entre os serviços de saneamento básico no Brasil, conforme observado nas Figuras 1 e 2 abaixo.

Figura 1 – Tipo de coleta e destino do lixo na zona urbana 2015. Fonte: IBGE (2015).

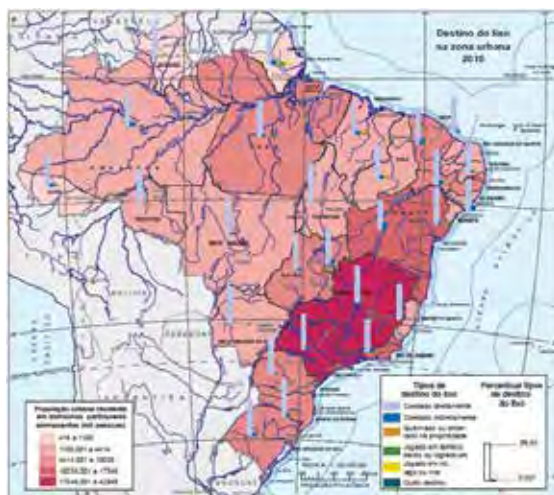
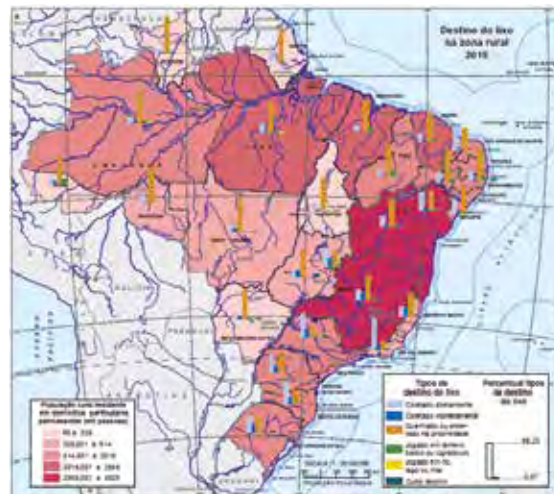


Figura 2 – Tipo de coleta e destino do lixo na zona rural 2015. Fonte: IBGE (2015).



Dessa forma, em relação as cidades afetadas pelo desastre pertencentes ao compartimento 1, entre a Barragem de Fundão e UHE Risoleta Neves, a disposição adequada de resíduos sólidos é uma questão importante e bastante preocupante. Apenas as cidades de Mariana e Barra Longa possuíam áreas de disposição oficialmente conhecidas. No período pré-desastre a cidade de Mariana possuía um Aterro Sanitário, o qual ainda está em atividade, e a cidade de Barra Longa possuía apenas um Aterro Controlado o qual atualmente está desativado, pois sua capacidade máxima de disposição foi atingida em 2015, segundo relato da prefeitura de Barra Longa.

Conforme Brasil (MPF)/LACTEC (2020d), a problemática da sobrecarga dos aterros de resíduos classe II, em relação ao desastre, a princípio, deve ser associada de forma indireta. Pois, os respectivos aterros de Mariana e Barra Longa foram impactados e provavelmente tiveram sua vida útil afetada, uma vez que a população flutuante das respectivas cidades aumentou, causando um proporcional e provável aumento na produção de lixo comum nas cidades por onde a lama de rejeito passou. Dessa forma, o desastre também gerou um dano em relação ao manejo dos resíduos sólidos urbanos de classe II produzidos nas cidades afetadas pelo desastre no Compartimento 1.

Análise crítica de documentos técnicos

Para o levantamento das informações que orientaram diversas avaliações deste trabalho, foram consultados diversos documentos técnicos produzidos entre os anos de 2016 e 2018, além de documentos recentemente publicados em 2019 e 2020. Na lista atualizada a seguir se encontra-se relação de notas técnicas, relatórios e planilhas consultadas:

IBAMA, Superintendência de Planejamento Urbano e Regional/MG:

1) Relatório nº 2126730/SECIR/SPUR/2018 Processo Nº 1470.01.0000223/2018-40 (SPUR, 2018).

Câmaras Técnicas do Comitê Interfederativo (CIF):

1) ATA CT – GRSA Nº 04/2019 (CT-GRSA, 2019b);

2) ATA CT – GRSA Nº 36/2019 (CT-GRSA, 2019c);

3) NOTA TÉCNICA – GRSA Nº 13/2018 (CT-GRSA, 2018d).

Fornecidos pela Samarco / Fundação Renova:

- 1) Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Barra Longa – MG/ Relatório Final Fevereiro/2018 (Fundação Renova, 2018c);
- 2) VOLUME 4 – Aplicação do Plano de Manejo de Rejeito no Trecho 9/ 2018 (Fundação Renova, 2018b);
- 3) Anexo II - Plano de Trabalho UHE Risoleta Neves – Candonga/2017 (Fundação Renova, 2017b).

Aterro Controlado de Barra Longa

O manejo de resíduos classe II na cidade de Barra Longa não é diferente da realidade da maioria das cidades brasileiras. Conforme descrito no Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos de Barra Longa (ERG ENGENHARIA, 2018), realizado a pedido da Fundação Renova, entre 2009 a 2016 o lixo urbano de Barra Longa vinha sendo disposto em um aterro sanitário de pequeno porte, que por problemas de gerenciamento se tornou um lixão ou vazadouro de resíduos a céu aberto. Dessa maneira, nota-se uma coincidência temporal entre o teórico fechamento do aterro controlado de Barra Longa com a execução de obras emergenciais realizadas na cidade após o desastre de Mariana em 2015. Observando de maneira cautelosa, a Figura 3 nota-se uma área com solo exposto bastante significativa e uma determinada porção com tonalidade diferente, o que pode caracterizar uma deposição de resíduo sólido.

Figura 3 – Imagem do Aterro Controlado de Barra Longa, no dia 11/11/2015.



Segundo o relatório nº 2126730 da Superintendência de Planejamento Urbano e Regional de Minas Gerais (SPUR, 2018) o município de Barra Longa alega que, como consequência inicial do rompimento da barragem de Fundão e dos impactos sofridos em Barra Longa, a Samarco e posteriormente a Fundação Renova utilizaram o equipamento de disposição de resíduos disponível no município. No mesmo relatório é citado que em 2017 a utilização do “lixão” tornou-se impedida, por conta de decisão oriunda de ação civil pública impetrada pelo Ministério Público, em face da notória utilização de um

equipamento irregular perante a legislação ambiental e a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Sendo assim, a Samarco e posteriormente a Fundação Renova corroboraram com a intensificação dessa problemática, já existente na cidade, da falta de um local adequado para a disposição dos resíduos sólidos urbanos. Em agosto de 2017 ainda havia deposição de resíduos sólidos urbanos na área do aterro de Barra Longa, conforme relatado no relatório nº 2126730/SECIR/SPUR/2018 da Superintendência de Planejamento Urbano e Regional de Minas Gerais (SPUR, 2018). Na Figura 4 nota-se uma alteração na área do aterro se comparada com a Figura 3, a área de solo exposto é maior e, se observada com atenção é possível notar um acúmulo de material de diferente tonalidade, o que poderia ser caracterizado como resíduo sólido.

Figura 4 – Imagem do Aterro Controlado de Barra Longa, no dia 25/08/2017.



Segundo o Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos de Barra Longa (ERG ENGENHARIA, 2018), após o fechamento do aterro controlado de Barra Longa a Fundação Renova iniciou a operação, em novembro de 2017, de um transbordo para suprir a demanda de destinação final de resíduo classe II da cidade. O lixo coletado diariamente na zona urbana e alternadamente na zona rural, é levado para uma Unidade de Transbordo. A Unidade de Transbordo é composta por uma rampa e um platô provido de três caixas estacionárias, tipo Rollon-Rolloff de 35m³, sendo duas caixas fixas ou estacionadas e uma caixa em trânsito, conforme descrito na Figura 5. O veículo coletor faz a descarga diretamente nas caixas que são transportadas para o Aterro Sanitário em Sabará, na Região Metropolitana de Belo Horizonte. Conforme observado na Figura 6, em 2018 houve uma redução significativa da movimentação na área do aterro controlado de Barra Longa. Na Figura 7 observa-se que, em novembro de 2019, provavelmente não ocorria mais manejo de resíduo no aterro.

Figura 5 – Estação de transbordo provisória de Barra Longa: (A) caixas estacionárias, aparentemente sem processo de separação de resíduo; (B) caixa estacionária com cobertura adequada; (C) caixa estacionária e caixa coletora de efluente e (D) caixa estacionária e rampa de acesso. Fonte: LACTEC (2019).



Figura 6 – Imagem do Aterro Controlado de Barra Longa, no dia 08/07/2018.



Figura 7 – Imagem do Aterro Controlado de Barra Longa, no dia 10/11/2019.



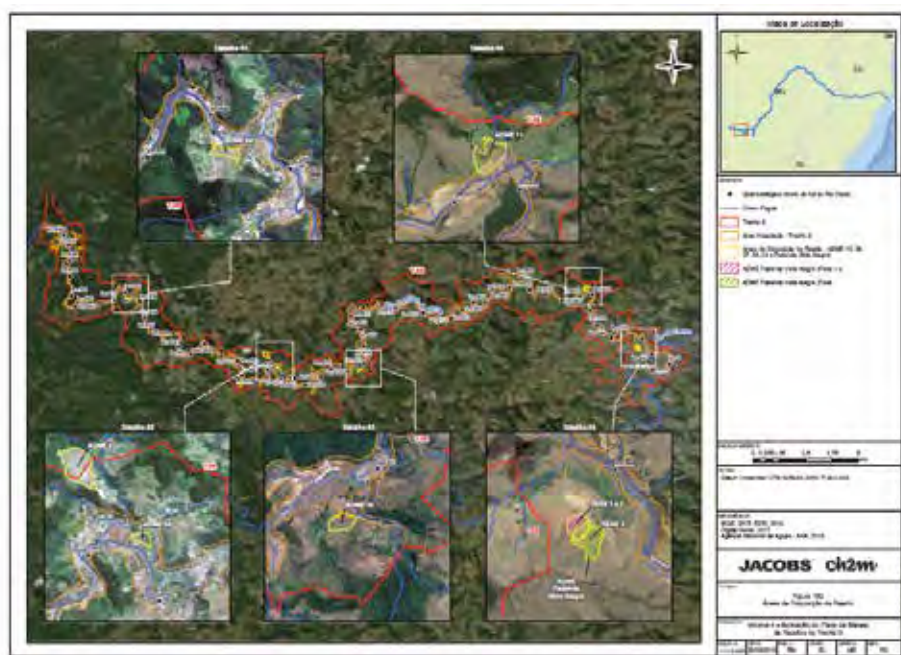
DEMAIS ÁREAS DE DISPOSIÇÃO DE REJEITO

Áreas de disposição de material excedente

Além das áreas utilizadas para disposição de rejeito citadas no relatório de diagnóstico de danos (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d), segundo o documento Aplicação Plano de Manejo de Rejeitos no Trecho 9 (Fundação Renova, 2018d), foram mapeadas mais seis áreas inseridas em propriedades rurais entre os municípios de Mariana e Barra Longa para uma futura disposição de rejeito proveniente do desastre. Os projetos executivos destas áreas estão em fase de elaboração. Tais localidades estão detalhadas de forma sucinta na Tabela 1 e distribuídas de forma espacial ao longo do curso do rio Gualaxo do Norte na Figura 8.

Tabela 1 – Áreas mapeadas para disposição de rejeitos. Fonte: BRASIL (MPF)/LACTEC (2020d).

Área	Distrito	Área (ha)	Capacidade volumétrica de armazenamento de rejeito seco (m³)
ADME 04	Ponte do Gama	1,80	41.640,00
ADME 07	Paracatu	6,67	-
ADME 08	Paracatu	1,27	-
ADME 09	Barretos	1,48	42.637,00
ADME 10	Pedras	1,63	45.500,00
ADME 11	Gesteira	5,25	-
Total		18,10	-

Figura 8 – Distribuição espacial das ADME mapeadas. Fonte: BRASIL (MPF)/LACTEC (2020d).

Segundo Nota Técnica proveniente da Câmara Técnica de Gestão de Rejeitos e Segurança Ambiental nº13 (CT-GRSA, 2018c) houve uma vistoria nessas prováveis áreas de disposição e tais constatações e orientações das respectivas áreas encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Áreas elencadas para disposição de rejeitos (ADME). Fonte: BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d) (Adaptado de Nota Técnica CT-GRSA nº 13/2018 (CT-GRSA, 2018c)).

Áreas	Recomendações à Fundação Renova	Coordenadas – NT 13/2018
ADME 04	Área elencada para disposição do rejeito não aparenta problemas para esse fim.	20°16'14"S 43°18'03"W
ADME 08	A área vistoriada, destinada à disposição do rejeito, necessita ser reavaliada visto apresentar aptidão à produção agropecuária. Trata-se de uma área de terraço, e não uma vertente apta para a disposição como as demais áreas.	20°18'00"S 43°17'56"W
ADME 10	Área elencada para disposição do rejeito não aparenta problemas para esse fim.	-
ADME 09	O local elencado para disposição do rejeito removido deverá ser revisto. A proposta no PMR indica uma área localizada acima de um ponto no qual são constatadas edificações rurais.	20°16'31"S 43°09'35"W
ADME 11	Área elencada para disposição do rejeito não aparenta problemas para esse fim.	Entre: 20°15'53"S 43°05'42"W; 20°15'49"S 43°05'29"W

Observando as orientações sugeridas pela Câmara Técnica, nota-se que apenas duas áreas necessitam serem realocadas, pois estão muito próximas de áreas de produção agropecuária ou edificações rurais. Entretanto, se tais áreas forem realmente utilizadas para disposição de rejeito proveniente do desastre, seriam geradas assim, novas áreas impactadas em decorrência das ações de mitigação que estão sendo realizadas, agravando a problemática de possível contaminação de novas áreas.

Fazenda Floresta

Com a necessidade da recuperação da UHE Risoleta Neves houve a busca por uma área próxima que atendesse e comportasse o rejeito dragado do reservatório da hidrelétrica. Em relato disposto na ATA da 36ª Reunião Ordinária da CT-GRSA (CT-GRSA, 2019b), é descrito que ao iniciar a busca por soluções, foram estudados em média 30 locais para a deposição do material dragado do reservatório e a Fazenda Floresta (Figura 9) se apresentou como a melhor solução. Porém, vale salientar, conforme descrito na ATA da 4ª Reunião Extraordinária da CT-GRSA (CT-GRSA, 2019c), que a área da Fazenda Floresta está bastante próxima a uma Unidade de Conservação, salientando a complexidade do manejo de rejeito que está sendo realizado na área, porém é passível de regularização esse tipo de intervenção.

Conforme Brasil (MPF)/LACTEC (2020d), a localidade denominada Fazenda Floresta, a qual possui uma área de aproximadamente 162 hectares, calculado através do *software ArcMap*, localizada a jusante de UHE Risoleta Neves, está sendo projetada para receber um volume bastante expressivo de rejeito dragado da usina, praticamente todo o volume de sedimento carregado e depositado pelo desastre, segundo o documento: Anexo II - Plano de Trabalho UHE Risoleta Neves – Candonga, um volume de aproximadamente 3.700.000 m³. Na Figura 10 é possível observar as alterações realizadas na propriedade.

Figura 9 – Imagem da Fazenda Floresta no período pré-desastre 21/01/2015.



Figura 10 – Imagem da Fazenda Floresta no período pós-desastre 18/09/2020.



ESTUDO DE CONTAMINAÇÃO DA FLORA NATIVA

APRESENTAÇÃO

As análises e discussões apresentadas no presente tópico consistem no esforço de avaliar a contaminação de seis espécies nativas da flora no âmbito dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão. Para tal, foram utilizados os dados da concentração de Elementos Potencialmente Tóxicos (EPTs) em tecidos vegetais de indivíduos coletados na Área de Passagem e Deposição da Lama (APDL 2016) ao longo do rio Doce e seus afluentes e em áreas não afetadas (controle), fazendo-se um paralelo com as concentrações de EPTs dos solos associados aos indivíduos. Importante ressaltar que os parâmetros de solo foram utilizados de maneira a complementar o entendimento da dinâmica da vegetação e não foram utilizados como indicadores diretos. Adicionalmente, realizaram-se medidas morfométricas dos espécimes avaliados, buscando correlacionar com a eventual contaminação do meio.

Os resultados de EPTs nas plantas e medidas morfométricas encontram-se apresentados nesse capítulo. Ao longo do Apêndice B encontram-se todos os resultados relativos à caracterização mineralógica (Apêndice B – Figura 1 a Figura 6), granulométrica (Apêndice B – Figura 7 a Figura 9), de fertilidade (**Apêndice B – Figura 10** a Figura 18) e de teores pseudo totais de EPTs das amostras de solo coletadas nas áreas de mata nativa (**Apêndice B – Figura 19** a Figura 31). Tais resultados corroboram as verificações apresentadas nos danos ao solo (item 2.2), no que diz respeito à alteração de sua composição, potencial produtivo e contaminação e não serão discutidos nesse tópico, apenas embasarão as discussões acerca do estudo de contaminação das espécies nativas. Todos os resultados analíticos podem ser encontrados nos anexos J, K e L, bem como os teores de EPTs do tecido vegetal são apresentados no anexo M.

METODOLOGIA

SELEÇÃO DE ÁREAS AMOSTRAIS

No planejamento das atividades de campo, inicialmente foram escolhidos nove conjuntos de áreas amostrais (AA's), sendo três conjuntos em cada compartimento. Cada conjunto de áreas amostrais é formado por dois locais próximos, sendo uma área com registro factível de passagem e depósito da lama (APDL) e sua réplica no entorno, em uma área não atingida pela lama (controle). Em função da impossibilidade de obtenção de dados secundários de linha base para a avaliação das plantas nativas, considerou-se como indicativo de dano a comparação das características de cada espécie na APDL com sua correspondente em áreas controle.

A partir do polígono da APDL foi realizada uma busca de áreas amostrais potenciais por meio de seleção ativa, utilizando o Google Earth como ferramenta. Inicialmente, buscou-se trechos com cobertura florestal relativamente extensos em APDL. Uma vez selecionada uma área potencial para amostragem em APDL, examinou-se áreas contíguas no seu entorno, fora dos limites da APDL, a fim de definir áreas com características ambientais similares àquela inicialmente selecionada.

Após a definição dos conjuntos de áreas potencialmente similares, foram aplicados filtros para atenuar heterogeneidade ambiental entre as localidades. Os parâmetros utilizados para a padronização interna do conjunto foi sua coincidência quanto à tipologia florestal, ao presumível estágio sucessional da vegetação florestal, à cota altimétrica das áreas, à tipologia do solo (SANTOS et al., 2001), e em menor escala, a distância à calha do rio e a acessibilidade da área. Assim, ao escolher áreas o mais similares possível, exclui-se o maior número de variáveis ecológicas que possam interferir nos resultados das análises de correlação ambiental. Na Tabela 1 são mostradas as informações dos nove conjuntos de áreas amostrais (AA's) selecionadas.

Após a escolha dos nove conjuntos de AA's, realizou-se uma análise temporal das imagens de satélite para cada localidade selecionada, a fim de determinar com exatidão se houve passagem de lama por ela. Para isso, na plataforma Google Earth, foram comparadas as imagens de satélite de cada área antes do desastre, imediatamente após a passagem da lama (novembro ou dezembro de 2015) e atuais, como pode ser visualizado no comparativo para a AA2 (Figura 1).

Figura 1 – Comparação da Área Amostral 2 (AA2) antes do desastre (agosto de 2014), logo após o desastre (novembro de 2015) e quatro anos após o desastre (março de 2019).



Em campo, todos os 18 conjuntos de áreas amostrais que compõem a grade de amostragem foram vistoriados e tiveram suas características avaliadas, com foco na verificação de indícios de passagem e/ou deposição de lama nos locais. Uma vez que indícios não fossem observados ou se mostrassem inconsistentes, a área era automaticamente descartada e uma nova vistoria era iniciada em outra localidade. Em caso de contato positivo para indícios de passagem e deposição de lama o processo de busca de indivíduos das espécies pré-selecionadas era iniciado, item fundamental para validação final da área (Figura 2).

Figura 2 – Comparativo entre áreas com e sem indícios de passagem e deposição de lama. À esquerda; área amostral AA1' (descartada após verificação em campo); e à direita; área amostral AA4 (validada para a amostragem).



Após a confirmação da existência de indivíduos das espécies-alvo em quantidade e distribuição necessárias, apenas quatro dos 18 conjuntos de AA's inicialmente planejados foram validados na primeira fase de campo, sendo os demais conjuntos descartados e substituídos por novos conjuntos, culminando nas nove AA's apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Detalhes de localização das nove AA's validadas em campo para compor o estudo de contaminação de espécies nativas do rio Doce.

Unidades Amostrais (AA's)	Município	Long. UTM	Lat. UTM	Cota Altimétrica (m)	Tipologia Florestal	Estágio Sucessional
COMPARTIMENTO 1						
AA1-APDL	Mariana-MG	671834.74	7759655.50	618	FES*	Médio
AA1-Controle	Mariana-MG	671930.71	7759634.45	635	FES	Médio
AA2-APDL	Mariana-MG	672779.83	7761411.51	608	FES	Médio
AA2-Controle	Mariana-MG	673001.11	7761439.73	606	FES	Médio
AA3-APDL	Barra Longa-MG	700503.93	7755862.54	398	FES	Médio
AA3-Controle	Barra Longa-MG	700695.87	7755997.36	416	FES	Médio
COMPARTIMENTO 2						
AA4-APDL	S.J. do Goiabal-MG	747203.11	7794679.06	263	FES	Médio
AA4-Controle	S.J. do Goiabal-MG	747153.18	7794730.17	276	FES	Médio
AA5-APDL	S.J. do Goiabal-MG	751941.30	7796667.96	259	FES	Médio
AA5-Controle	S.J. do Goiabal-MG	751925.65	7796731.28	269	FES	Médio
AA6-APDL	S.P. dos Ferros-MG	756127.57	7798939.98	257	FES	Médio
AA6-Controle	Raul Soares-MG	756571.83	7798556.01	268	FES	Médio
COMPARTIMENTO 3						
AA7-APDL	Linhares-ES	375807.61	7846513.20	31	FOD**	Médio
AA7-Controle	Linhares-ES	376180.91	7846674.88	30	FOD	Médio
AA8-APDL	Linhares-ES	389561.28	7852424.70	26	FOD	Médio
AA8-Controle	Linhares-ES	398987.75	7849521.95	22	FOD	Médio
AA9-APDL	Linhares-ES	382561.72	7850983.09	22	FOD	Médio
AA9-Controle	Linhares-ES	380110.76	7848644.91	35	FOD	Médio

*FES: Floresta Estacional Semidecidual; **FOD: Floresta Ombrófila Densa.

DEFINIÇÃO DAS ESPÉCIES E MARCAÇÃO DOS INDIVÍDUOS

Após a verificação de indícios de passagem e/ou deposição de lama nas áreas amostrais, validando-a como potencialmente apropriada aos objetivos do estudo, iniciou-se a busca por espécies-alvo no local. Em campo, a busca ativa de espécies potenciais ocorreu através do emprego do método de caminhamento (FILGUEIRAS et al., 1994). Dois técnicos caminharam dentro dos limites da área tida como apropriada à amostragem e elencaram as espécies vegetais nativas mais conspícuas e a ocorrência de cada uma delas, passando tais informações para um terceiro técnico, responsável por realizar a tomada de nota em planilha eletrônica (Figura 3). Quanto à ocorrência de múltiplos indivíduos de uma mesma espécie, observava-se o distanciamento entre eles, verificando se apresentavam ao menos 30 m de distância entre si, elemento obrigatório para a exclusão de pseudo-réplicas entre os espécimes futuramente amostrados.

Figura 3 – Procedimento de busca ativa de espécies pelo método de caminhamento em áreas controle e APDL previamente validadas em relação a passagem e/ou deposição de lama.



Como guia referencial das espécies com maior probabilidade de ocorrência nos ambientes florestais ribeirinhos do rio Doce, utilizou-se as listagens de espécies potenciais elaboradas com base nos dados de densidade e frequência das espécies amostradas no diagnóstico do rio Doce (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020d), incluindo o inventário florestal e o diagnóstico de espécies não-arbóreas. Apesar de utilizar o guia referencial, a busca ativa não se restringia apenas às espécies elencadas. Após a execução do caminhamento em uma determinada área, obtinha-se uma listagem de espécies ocorrentes no local e o número de indivíduos de cada espécie (em número mínimo de cinco).

O procedimento acima descrito era então realizado para as demais AA's dentro de um mesmo compartimento, originando seis listagens de espécies (três listas para áreas APDL e outras três para áreas controle). A partir dessas listagens eram selecionadas espécies com ocorrência comum para todas as AA's, estando elas no guia referencial ou não.

Seis diferentes táxons foram selecionados para integrar o estudo e ser objeto de amostragens biológicas e de solos associados. A escolha das espécies incluiu três espécies arbóreas, duas arbustivas e uma herbácea (Tabela 2). Apenas duas das seis espécies foram amostradas no momento dos levantamentos do inventário florestal e diagnóstico de espécies não-arbóreas.

Tabela 2 – Espécies vegetais selecionadas para integrar o estudo de contaminação de espécies nativas do rio Doce.

Espécie	Família	Hábito	Frequência Absoluta*	Densidade Absoluta*
COMPARTIMENTO 1				
<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.	Siparunaceae	Arbóreo	14.0	419
<i>Piper arboreum</i> Aubl.	Piperaceae	Arbustivo	-	-
COMPARTIMENTO 2				
<i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer	Meliaceae	Arbóreo	3.0	14
<i>Adiantum latifolium</i> Lam.	Pteridaceae	Herbáceo	-	-
COMPARTIMENTO 3				
<i>Chrysophyllum lucentifolium</i> Cronquist	Sapotaceae	Arbóreo	-	-
<i>Psychotria carthagenensis</i> Jacq.	Rubiaceae	Arbustivo	-	-

* Dados obtidos a partir do inventário florestal executado para os fragmentos florestais do rio Doce.

Uma breve descrição das espécies é apresentada a seguir (FLORA DO BRASIL, 2020).

- *Siparuna guianensis* Aubl.: espécie monóica de hábito arbustivo ou arbóreo, com altura estabelecida entre 7 e 11 m quando adulta, e tronco alcançando 3-15 cm de diâmetro. Madeira amarelo-pálida, macia, casca marrom ou verde com manchas marrons; ramos novos cilíndricos, mais ou menos achatados nos nós, os mais jovens com tricomas estrelados. Folhas compostas pinadas com 8-10 pares de folíolos. Ocorre no domínio dos biomas Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal, nas tipologias vegetacionais Cerrado (lato sensu), Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta de Terra Firme, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Ombrófila.
- *Piper arboreum* Aubl.: arbusto de crescimento ereto, podendo alcançar 4 m de altura. Apresenta caule nodoso bem definido e folhas simples, alternas, membranáceas, papiráceas e de formato oblongo-elípticas. Ocorre no domínio dos biomas Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, nas tipologias vegetacionais Campo Rupestre, Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta Ombrófila (= Floresta Pluvial) e Savana Amazônica.
- *Guarea guidonia* (L) Sleumer: espécie arbórea, com altura estabelecida entre 15 e 20 m quando adulta e tronco alcançando 40-60 cm de diâmetro. Madeira moderadamente pesada, dura, resistente e aromática, de grande durabilidade. Folhas compostas pinadas 6-10 pares de folíolos. Ocorre no domínio dos biomas Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, nas tipologias vegetacionais Cerrado (lato sensu), Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta de Várzea e Floresta Ombrófila.
- *Adiantum latifolium* Lam.: espécie herbácea com caule com rizoma longo/rasteiro/não nodoso. Folha: fronde 2 pinada(s); raque com escamas; estereis margens denticuladas; nervuras livres; idioblasto inconspícuo; pina ou pínula contínua/subsésil/não dimidiado/glabro/em ambas superfícies. Tipo de esporângio: leptosporângio pedicelado/glabro. Esporângio: ânulo vertical/com/indúcio/glabro. Esporo: trilete rugada à tuberculada.

- *Chrysophyllum lucentifolium* Cronquist: espécie arbórea, com filotaxia alterna espiralada. Ocorre no domínio dos biomas Amazônia e Mata Atlântica, nas tipologias vegetacionais Floresta Estacional Perenifólia, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Ombrófila.
- *Psychotria carthagenensis* Jacq.: espécie de hábito arbustivo ou arbóreo, com altura estabelecida entre 0,5 e 2,5 m quando no sub-bosque florestal. Os arbustos tem caules roliços e glabros (sem pelos) com coloração esverdeada. As folhas são oblongas e cartáceas, de filotaxia oposta, apresentando estípulas características. Ocorre no domínio dos biomas Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal, ocorrendo nas tipologias florestais Campo de Várzea, Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta de Igapó, Floresta de Várzea, Floresta Estacional Perenifólia, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila e Restinga.

Definidas as espécies com réplicas comprovadas para cada compartimento, deu-se o processo de retorno às áreas e marcação dos 20 indivíduos das duas espécies-alvo em cada uma das nove AA's (APDL= cinco indivíduos espécie 1 + cinco indivíduos espécie 2; controle= cinco indivíduos espécie 1 + cinco indivíduos espécie 2), totalizando 180 indivíduos marcados.

Em campo, as espécies-alvo foram rastreadas e marcadas com etiqueta sequencialmente numerada e fita zebra para fácil reconhecimento na fase de coleta de amostras. Adicionalmente, foram tomadas as coordenadas UTM de cada um dos 180 indivíduos visando sua aferição posterior em relação aos limites das áreas amostrais (APDL ou controle).

COLETA, PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO DE DADOS BIOLÓGICOS

Para cada um dos indivíduos, foram tomadas informações morfométricas, incluindo diâmetro a altura do peito (DAP) e diâmetro a altura da base (DAB) do(s) fuste(s), além da altura total do indivíduo (Figura 4).

Figura 4 – Tomada de dados morfométricos dos indivíduos amostrados: diâmetro à altura da base (esquerda) e diâmetro a altura do peito (direita).



A coleta de DAP restringiu-se aos indivíduos com altura superior a 1,30 metros, totalizando 116 dos 180 organismos-teste amostrados. Para a espécie *Adiantum latifolium*, não houve a coleta de dados desses parâmetros devido à proporção diminuta da espécie e falta de tecido lenhoso, uma vez que essa é uma espécie herbácea e de pequeno porte.