



**PARECER TÉCNICO FINAL: ANÁLISE DOS
DOCUMENTOS ENTREGUES PELA FUNDAÇÃO
RENOVA NO CONTEXTO DO CONTRATO
CELEBRADO ENTRE A FACULDADE LATINO-
AMERICANA DE CIÊNCIAS SOCIAIS (FLACSO) E A
TERRA TRÓPICO**

EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL

NAZIANO FILIZOLA JR

EDGARDO M. LATRUBESSE

SAMIA AQUINO DA SILVA

JOSÉ C. STEVAUX



SUMÁRIO

1. Introdução	3
2. Objetivos	4
3. Antecedentes	7
4. Dos documentos analisados	8
4.1. Contextualização dos estudos e documentos	8
5. Análise e posicionamento do especialista	35
6. Observações de campo	37
7. Análise documental realizada	37
8. Análise das metodologias usadas nos estudos	38
8.1. As premissas da NHC para avaliar a recuperação do sistema	38
9. Análise geral	39
10. Avaliação do uso de imagens e realização da cartografia	40
11. Avaliação da classificação dos rios	41
12. Avaliação da classificação de "Habitats físicos"	41
13. Limitações da metodologia utilizada	41
14. Sobre as categorias definidas e utilizadas pela NHC	42
15. Sugestões para melhorar a caracterização das categorias definidas na metodologia utilizada	45
16. Recomendações específicas	47
16.1. A respeito do Canal Molhado e das Geoformas	47
16.2. A respeito da Classificação apresentada pela NHC	48
17. Avaliaç. da resposta/recuperação dos canais fluviais atingidos pelo evento de 2015	49
18. Encaminhamentos	49
19. Referências Bibliográficas	51



Parecer Técnico, apresentando a análise dos documentos entregues pela Fundação RENOVA no contexto do contrato celebrado entre: A FACULDADE LATINO-AMERICANA DE CIÊNCIAS SOCIAIS (FLACSO), E, DE OUTRO, A TERRA TRÓPICO LTDA

1 - Introdução

O presente relatório trata das atividades demandadas no contrato celebrado entre: A FACULDADE LATINO-AMERICANA DE CIÊNCIAS SOCIAIS (FLACSO), E, DE OUTRO, A TERRA TRÓPICO LTDA, quais sejam:

Análise e avaliação dos documentos apresentados pela Fundação RENOVA em atendimento ao item 1 do Eixo prioritário 1 - “Recuperação ambiental extra e intracalha”, mais especificamente, em atendimento à Nota Técnica CT-GRSA n° 10/2021 e à Deliberação CIF no 516, de 18 de junho de 2021, intitulados:

1. Plano de trabalho (26/01/2021) - **FR.2021.0126**;
2. Mapeamento de Habitats Físicos dos Trechos T06 À T11 para Condição Pós- Rompimento - Ano Base 2019 (31/01/2022) - **FR.2022.0148**;
3. Definição da Condição de Referência para os Trechos T10 e T11 (25/02/2022) - **FR.2022.0659**;
4. Mapeamento de Habitats Físicos nos trechos T06 a T11 e Definição da Condição de Referência para os Trechos T06 a T09 (29/04/2022) -**FR.2022.0659**;
5. Mapeamento de Habitats Físicos dos trechos T06 a T11 e Condição de Referência, Mapeamento de Habitats para o ano de 2021 (24/06/2022) -**FR.2022.0935**;
6. Mapeamento de habitats físicos nos trechos T06 a T11 e definição da condição de referência (31/08/2022) - **FR.2022.1297**.

Ainda segundo o referido contrato os documentos cujo conteúdo ora analisados destinaram-se a avaliar e mapear os habitats físicos para condição de referência (pretéritos ao evento e de rios não impactados da região) e em dois momentos após o rompimento (anos de 2019 e 2021), para caracterizar os processos físicos que estão ocorrendo ao longo do trecho impactado do rio Gualaxo do Norte, rio do Carmo e do rio Doce, a montante do reservatório da Usina Hidrelétrica Risoleta Neves (T06 a T11) e identificar alterações no sistema fluvial decorrentes do rompimento da barragem de Fundão, de modo a embasar a definição de ações e medidas de reparação ou compensação ambiental. Para atingir o objetivo geral foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Realizar mapeamento sistemático das estruturas de habitats físicos (cascatas, corredeiras, rápidos e remansos/poços);
- Definir condição de referência para a presença de estruturas de habitats físicos na área de estudo por meio de mapeamento sistemático para situação anterior ao evento (T10 e T11) e de trechos de rios da região não afetados diretamente pelo rompimento (T06 ao T09);
- Avaliar o processo de evolução das estruturas de habitats físicos, comparando informações de referência (históricas e de trechos de rios da



região) com informações do imageamento de alta resolução de 2019 e 2021, e informações de estudos e trabalhos pertinentes;

- Avaliar a viabilidade de implementação de indicador ambiental relacionado à recuperação ambiental de habitats físicos.

Para que se pudesse realizar a avaliação, o contrato também demandou que as análises que são apresentadas no presente relatório envolvessem conhecimentos específicos, dentre outros, sobre geomorfologia fluvial, hidrogeografia, transporte e deposição de sedimentos nos cursos d'água e geoprocessamento e sensoriamento remoto. Com base nesses conhecimentos solicitou-se ainda: a) Avaliar o transporte de sedimentos nos rios afetados que compõem os trechos 06 ao 11; b) Estabelecer os processos físicos que estão ocorrendo e identificar as respostas do sistema fluvial a perturbação causada pela onda de lama, por meio de avaliação e mapeamento dos habitats físicos.

Por fim, solicitou-se que o parecer fosse conclusivo a respeito do tema, sobre a eficiência ou não do mapeamento, ou, em último caso, apresentar tendência do mapeamento e justificar tecnicamente o porquê não foi possível alcançar uma conclusão e especificar com detalhes quais os pontos e métricas seriam necessárias para se alcançar uma conclusão.

2 - Objetivos

O presente relatório visa, portanto, dar uma parecer técnico sobre os documentos entregues pela Fundação RENOVA (Tabela 1) referentes ao mapeamento de habitats físicos, realizado nos rios impactados pelo rompimento da Barragem de Fundão à montante da UHE Risoleta Neves, que compreende parte dos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce, referente ao desdobramento do Item 1 do Eixo prioritário 1 – Recuperação Ambiental Extra e Intra Calha da Ação Civil Pública nº 69758-61.2015.4.01.3400, fornecendo subsídios técnicos para a tomada de decisão quanto ao assunto no âmbito do CIF.

Tabela 1: Lista de documentações emitidas pela CT-GRSA, CIF, Fundação RENOVA e outras entidades públicas, correlacionado aos habitats físicos em ordem cronológica e analisados neste relatório.

TIPO DOCUMENTO	ORIGEM	DATA DOCUMENTO	TÍTULO DO DOCUMENTO	Nº PGs.	OBS.
1.Nota Técnica	CT-GRSA	mai/20	Avaliação do estudo “Indicadores e Metas das Ações Relativas ao Manejo de Rejeitos nos Trechos 01 a 11”,	56	De onde surgiu a demanda



TIPO DOCUMENTO	ORIGEM	DATA DOCUMENTO	TÍTULO DO DOCUMENTO	Nº PGs.	OBS.
			referente ao item 1 do eixo prioritário 1, no âmbito do processo judicial 69758-61.2015.4.01.3400		
2.Plano de Trabalho	Fundação Renova	jan/21	Mapeamento de habitats físicos nos trechos T06 à T11 e definição da condição de referência - PLANO DE TRABALHO	25	Apresenta do pela Fundação RENOVA e avaliado pela CT-GRSA em 2021
3.Referências Bibliográficas	Fundação Renova	mar/21	Mapeamento de habitats físicos nos trechos T06 à T11 e definição da condição de referência PLANO DE TRABALHO	4	Apresenta do pela Fundação RENOVA e avaliado pela CT-GRSA em 2021
4.Nota Técnica	CT-GRSA	mai/21	Avaliação do plano de trabalho referente ao “Mapeamento de habitats físicos nos trechos T06 à T11 e definição da condição de referência (Rev. 2)”.	98	Resposta da CT-GRSA ao Plano de Trabalho apresenta do pela Fundação Renova
5.Deliberação	CIF	jun/21	Aprova as conclusões da Nota Técnica CTGRSA nº 10/2021 - Avaliação do plano de trabalho referente ao “Mapeamento de	2	Concordância do CIF dando comando para a Fundação RENOVA



TIPO DOCUMENTO	ORIGEM	DATA DOCUMENTO	TÍTULO DO DOCUMENTO	Nº PGs.	OBS.
			Trechos T06 à T09		
9.Relatório	Fundação Renova	jun/22	Mapeamento de Habitats Físicos nos Trechos T06 à T11 e Definição da Condição de Referência - Mapeamento dos habitats para o ano de 2021	216	Quinto produto entregue. Ofício FR.2022.0 935
10.Relatório	Fundação Renova	ago/22	Mapeamento de Habitats Físicos nos Trechos T06 à T11 e Definição da Condição de Referência - Relatório Final	106	Sexto produto entregue. Ofício FR.2022.1 297

3 - Antecedentes

Segundo a documentação fornecida pela FLACSO e como foi do conhecimento da sociedade brasileira, em 5 de novembro de 2015 ocorreu o rompimento da barragem de Fundão, da mineradora Samarco, em Mariana (MG). Decorrente deste rompimento houve o lançamento de cerca de 45 milhões de metros cúbicos de rejeitos no meio ambiente. Os poluentes ultrapassaram a barragem de Santarém, percorrendo 55 km no rio Gualaxo do Norte até o rio do Carmo, e outros 22 km até o rio Doce. A onda de rejeitos, composta principalmente por óxido de ferro e sílica, soterrou o subdistrito de Bento Rodrigues e deixou registros até o litoral do Espírito Santo, percorrendo 663,2 km de cursos d'água. O desastre afetou uma área de 1.469 hectares, incluindo Áreas de Preservação Permanente (APPs). Argumenta-se que a força do volume de rejeitos lançado com o rompimento da barragem pode ter revolvido e colocado novamente em suspensão os sedimentos de fundo dos cursos d'água afetados.



a) Governador Valares (MG)

Figura 01. Rio Doce em Governador Valadares mostrando o efeito do evento na cor do rio e em suas propriedades quanto ao transporte de sedimentos. Fonte. C Rojas (2020).

4 - Dos documentos analisados

4.1. Contextualização dos estudos e documentos

4.1.1. Documento 1 - NOTA TÉCNICA CT-GRSA no. 05/2020, referente à: Avaliação do estudo “Indicadores e Metas das Ações Relativas ao Manejo de Rejeitos nos Trechos 01 a 11, referente ao item 1 do eixo 1, no âmbito do processo judicial 69758-61.2015.4.01.3400

O documento analisado apresenta em seu item de contextualização como objetivo do estudo que o gerou, a busca por compreender os processos de dinâmica superficial local e sua interação com o rejeito introduzido no meio, a fim de identificar os impactos relacionados e a situação em que se encontrava a área afetada pelo evento, bem como avaliar e definir as corretas alternativas de manejo. Porém, no parágrafo seguinte do mesmo, dá a entender que o trabalho efetivo mesmo se deu quanto à definição e utilização de indicadores para avaliar as ações de manejo de rejeitos, como indica o título. Indica também que apesar de o estudo total ter sido realizado em 17 trechos, o documento se restringe aos de 1 a 11. Esses 11 trechos foram agrupados em 3 grupos, segundo a intensidade e tipo das ações de manejo em curso e/ou já realizadas. Na sequência apresenta um resumo do processo para a definição dos indicadores a serem utilizados no processo de avaliação das ações de manejo. Estes foram divididos em 2 tipos: Indicadores - fim e Indicadores - meio, que foram descritos através de tabelas específicas onde as metas também foram estabelecidas para cada um. As metodologias para determinação foram descritas de modo sucinto, mas dados dos indicadores não foram apresentados, sendo que a obtenção de alguns deles, por exemplo, teve início em 2017 e fim em 2020. A lista de indicadores citada, foi criticada e avaliada quanto à



pertinência ou não de seu uso. Ao final, uma lista de adequações foi elencada para os indicadores demandando providências da parte da Fundação RENOVA. Especificamente em relação ao objeto da análise da presente consultoria, a CT-GRSA concordou com a exclusão do Indicador de diversidade de habitats físicos, porém condicionou à apresentação pela Fundação RENOVA de um mapeamento dos habitats físicos da calha fluvial nos Trechos 06 a 11, contemplando a situação pré e pós rompimento.

4.1.2. Documento 2 – Plano de Trabalho quanto ao Mapeamento de habitats físicos nos trechos T06 à T11 e definição da condição de referência”

O documento analisado apresenta o Plano de Trabalho a ser executado à época pela empresa NHC para a Fundação Renova. A proposta contempla uma metodologia para determinação do que ali é denominado de Habitat Físico, sendo este termo ali definido como

[..]áreas homogêneas que possuem características físicas de sua morfologia (material predominante na camada ativa, superficial e forma do leito) e características hidráulicas (profundidade e velocidade do escoamento) distintas e que se estendem até várias larguras de canal em termos de comprimento, fornecendo habitats distintos para os organismos aquáticos.

Como referências de base para essa definição e como modelo para o estudo são indicados os autores: Montgomery & Buffington, 1997, 1998; Bisson e colaboradores, 2017.

Segundo a metodologia apresentada, são distinguidas 4 classes: Poço/remanso, Rápidos, Corredeira e Cascata as quais são analisadas a partir de variáveis tais como: forma topográfica, Velocidade de fluxo em condições de baixas vazões, profundidade relativa e tipo de material do leito, porém analisadas de forma subjetiva e qualitativa (i.e., leito côncavo, plano, íngreme, velocidade lenta, moderada, rápida, profundidade, rasa profunda, moderada, material do leito variável, rochoso, com matacões, etc.). Essas características são determinadas a partir de análise visual de imagens obtidas por mapeamento sistemático dos citados habitats físicos do rio utilizando imagens aéreas de alta resolução obtidas com drone e sistema LIDAR em sobrevoo de baixa altitude. A proposta indica que as imagens devem ser processadas por meio de ortorretificação diferencial, para corrigir as distorções ópticas das fotos, causadas devido ao ângulo de obtenção das mesmas, inclinação do terreno, ou outros fatores, fornecendo informações de distância e de área mais precisas. Assim, os resultados permitem; a) determinar o delineamento do canal ativo, b) mapear e delimitar a área de abrangência dos habitats físicos (incluindo quantificação da presença percentual), c) o cálculo da granulometria predominante da camada, ali denominada como “ativa do leito”, porém diferenciando apenas materiais como cascalho e “pedra de mão” de material mais fino, e d) classificação da condição da margem (i.e., vegetação densa, arbustos, grama ou pastagem, proteção de talude, erosão e leito rochoso). São indicados também alguns parâmetros complementares como elementos a serem mapeados (i.e., declividade e morfologia do canal e dados para análise hidráulica simplificada dos mecanismos de



transporte preferencial de sedimentos para eventos de cheias). O documento não detalha o processo pelo qual tanto esses elementos complementares quanto os demais (primários) são obtidos a partir das imagens.

4.1.3. Documento 3 - Referências Bibliográficas quanto ao Mapeamento de habitats físicos nos trechos T06 à T11 e definição da condição de referência PLANO DE TRABALHO

No plano de Trabalho apresentado constam 47 referências bibliográficas. Destas constam artigos científicos, relatórios técnicos e livros de referência utilizados para o embasamento da proposta. Dentre os artigos e livros há estudos de caso reportados em países como Papua Nova Guiné, Estados Unidos e Austrália por exemplo. Muitos dos artigos relatam casos relacionados a eventos de causas naturais (terremotos, erupções vulcânicas etc.) que geraram fluxos de sedimentos de grande ordem atingindo corpos fluviais. Também são citados artigos onde são abordados aspectos teóricos do funcionamento ecológico dos sistemas fluviais, bem como também são apresentados relatórios técnicos relacionados ao evento da Barragem do Fundão. Na bibliografia se percebe um conjunto de textos que ressaltam aspectos hidrológicos, geomorfológicos e do transporte de sedimentos. No entanto, o documento do plano de trabalho enfatiza que as referências básicas utilizadas na construção da metodologia proposta, tomando-se como ponto de partida a definição de “*Habitat Físico*”¹ e seu uso para classificação de ambientes, aspectos teóricos e metodologias de abordagem são: Montgomery, D. R., & Buffington, J. M. (1997); Montgomery, D. R., & Buffington, J. M. (1998) e Bisson, P. A., Montgomery, D. R., and Buffington, J. M. (2017). Detalhando um pouco tais referências de base têm-se:

- Montgomery, D. R., & Buffington, J. M. (1997). Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Geological Society of America Bulletin*, 109(5), 596–611. Neste artigo os autores apresentam argumentação teórica para um sistema de classificação morfológica de canais fluviais. Partem do princípio que variações sistemáticas na morfologia do leito em bacias de drenagem montanhosas fornecem a base para uma classificação da morfologia do canal. Estas variações refletiriam os processos de formação do canal. Assim, serviriam para ilustrar as ligações entre processos dentro da rede de canais, permitindo uma previsão do potencial geral de resposta do canal fluvial. A partir disso, subentendem, os autores, que a morfologia do leito aluvial reflete uma configuração de rugosidade estável para o suprimento de sedimentos que é imposto ao canal, bem como reflete também a capacidade de transporte implicando assim numa ligação entre os processos e a forma do canal. Deste modo, associa que tipos de trechos e proporções de capacidade de transporte de sedimentos, combinados com a identificação de influências externas e o acoplamento espacial de trechos com encostas e outros tipos de canais, seriam suficientes para fornecer uma estrutura conceitual passível de ser utilizada na investigação de processos

¹ O termo Habitat é largamente encontrado nas referências e tem definição conhecida e ligado às ciências biológicas, ecologia, etc. Porém “*Habitat Físico*” não encontra embasamento teórico nas referências principais destacadas pelos autores dos documentos analisados. Portanto, este termo teve uso específico para o caso em pauta.



de perturbação em bacias hidrográficas e para avaliar as condições espaciais de canais fluviais como resposta àquelas perturbações. Desta forma se poderia utilizar uma sistemática de classificação comum para todo o canal fluvial. No entanto, os autores reforçam que essa classificação, não é ideal para todos os propósitos. Portanto, não sendo de uso geral. A depender do ambiente, mais informações sobre características da região são necessárias. Por fim os autores afirmam que a classificação proposta apenas caracteriza os aspectos da morfologia do canal tendo alcance limitado para avaliar a condição do canal e a resposta potencial a perturbações naturais e antrópicas em bacias de drenagem de montanhas.

- Montgomery, D. R., & Buffington, J. M. (1998). Channel processes, classification, and response. *River ecology and management*, 112, 1250–1263.

Nesta publicação os autores discutem processos físicos, classificação e potencial de resposta de canais em bacias de drenagem de montanha. Destacam que um conjunto relativamente simples de processos físicos leva a uma ampla variedade de canais fluviais naturais, cuja classificação pode orientar reconhecimento de zonas funcionalmente semelhantes em bacias hidrográficas montanhosas. No entanto reforçam que porções diferentes das redes de canais de montanha são dominadas por diferentes processos geomórficos envolvendo relações entre: 1) A capacidade de transporte (uma função da vazão e o limite de tensão de cisalhamento junto ao leito) e 2) A oferta de sedimentos (tamanho e quantidade de material disponível para transporte). Ademais, reforçam também que as sistemáticas para classificações de canais fazem uso de semelhanças de forma e função para impor ordem em um “continuum” de tipos de canais e morfologias fluviais naturais. Deste modo nenhuma classificação única pode satisfazer a todos os propósitos possíveis ou abranger a todos os possíveis tipos de canais. Realizam uma revisão a respeito de sistemas de classificação de canais fluviais e o uso destas para sistematizar a morfologia do canal e de processos ali ocorrentes. Deste modo consideram como premissas que canais aluviais com alta capacidade de transporte relativa ao fornecimento de sedimentos, geralmente mantêm sua morfologia, transmitindo para jusante o aumento de suas cargas de sedimento. Ademais, entendem que canais com menor relação entre a capacidade de transporte e o suprimento de sedimentos, tendem a exibir maior resposta morfológica ao aumento na carga de sedimentos. Os autores indicam em seu texto, que canais íngremes, agiriam como canais de distribuição de sedimentos conectando zonas de produção de sedimentos em encostas àquelas de canais em zonas de gradiente menor. Indicam também que alguns condicionantes podem orientar a avaliação da condição do canal e seu potencial de resposta a mudanças em áreas de bacias de montanhas florestadas. Neste sentido: a morfologia do leito, o grau de confinamento (razão entre largura do fundo vale e a largura do canal em condição de vazão de margens plenas) e influências externas (e.g. vegetação ripária) seriam importantes fatores a serem considerados. No entanto, ressaltam que as sistemáticas para classificação de canais não podem substituir a uma observação com foco determinado e um pensamento claro em relação aos processos identificados. Ou seja, se faz necessário um reconhecimento local. Canais são sistemas complexos que precisam ser interpretados dentro de sua



contexto local e histórico. Por fim, indicam que as sistemáticas de classificação funcionam como um instrumento que fornecem uma visão entre uma variedade de ferramentas que podem ser aplicadas a problemas particulares - não sendo uma panacéia.

- Bisson, P. A., Montgomery, D. R., and Buffington, J. M. (2017). Valley segments, stream reaches, and channel units. *Methods in Stream Ecology, Volume 1* (pp. 21–47). Elsevier.

Neste capítulo de livro, os autores apresentam uma análise conceitual em relação a níveis hierárquicos de classificação de canais, cada um com uma faixa de tamanho típica e escala temporal de persistência. Apresentam também um quadro em relação à influência das condições da bacia hidrográfica (topografia, vazão e suprimento de sedimentos) em distintos tipos de trechos fluviais e demais características de canais (largura, profundidade, sinuosidade, gradiente de fluxo, tamanho de grão). Adicionalmente incluem um modelo de classificação de trechos fluviais com base em distintas características: tipo de material predominante, elementos de rugosidade dominantes, fontes dominantes de sedimentos, declividade, grau de confinamento, espaçamento entre “pools”, largura e variação desta em condição de vazão de margens plenas e razão entre largura em condição de vazão de margens plenas e intervalo de recorrência da vazão relativa. Sintetizam procedimentos e propõem uma metodologia de abordagem para uso da sistemática de classificação, a qual se assemelha à utilizada no tema em pauta no presente relatório. Destacam que a técnica apropriada a ser utilizada é dependente da natureza do tipo de investigação desejada, carecendo de adaptações locais. Destacam também que se faz necessário sempre considerar que as variações na vazão e nas dimensões do canal molhado podem influenciar fortemente a abundância relativa de diferentes tipos de unidades de canal em termos da área total do fluxo ou volume do canal molhado. Portanto, muitas vezes é desejável repetir a pesquisa em períodos distintos do ciclo hidrológico para melhor quantificar essa fonte potencial de incerteza.

4.1.4. Documento 4 - NOTA TÉCNICA CT-GRSA no 10/2021, referente à: Avaliação do plano de trabalho referente ao “Mapeamento de habitats físicos nos trechos T06 à T11 e definição da condição de referência (Rev. 2)”.

O documento analisado incorpora em seu contexto vários documentos, como ofícios, memória de reuniões e Notas técnicas anteriores discutindo a questão dos indicadores e metas de ações relativas ao manejo dos rejeitos nos trechos ora considerados. O principal objetivo da NT foi o de apresentar uma análise consolidada sobre o plano de trabalho, dando subsídios para a execução dos estudos de mapeamento dos habitats físicos nos trechos T06 à T11 em cumprimento à requisição No. 2.8 da Nota Técnica CT-GRSA 05/2020 e, conseqüentemente á Deliberação CIF no 396, de 13 de abril de 2020. Após um histórico e a contextualização do conteúdo da NT é exposta a análise realizada pela CT-GRSA onde a mesma explora os tópicos do Plano de Trabalho



apresentado pela Fundação Renova, também analisado no contexto da presente consultoria sob a denominação de Documento 2. A CT-GRSA destaca na NT que:

“As características do leito do rio e das suas margens determinam o fluxo de entrada de sedimentos na coluna d’água, bem como a estrutura física do rio, criando espaço e condições hidráulicas (habitats físicos) para desenvolvimento dos organismos. Deste modo, a recuperação das características físicas do leito é um componente-chave na recuperação da qualidade da água e da ecologia de um rio. Essas características foram alteradas pela grande inserção de sedimentos finos no curso d’água causadas pela onda de rejeitos oriunda do rompimento supracitado.”

Destaca, também, que o estudo visava: melhorar o entendimento do comportamento dos rios atingidos nos trechos destacados, avaliar a eficácia das ações de restauração e de recuperação dos cursos d’água atingidos nos trechos em tela (T06 a T11), responder perguntas técnicas e outras relacionadas ao programa de manejo de rejeitos (PMR). Ademais a NT caracteriza o evento do rompimento da barragem de Fundão, onde descrevem o volume de rejeito de minério de Ferro mobilizado em cerca de $43,7 \times 10^6$ m³ com uma granulometria predominantemente variando entre silte a argila. Esse volume de rejeito foi transportado ao longo da área de estudo, ainda segundo a NT, com características variando de lama plástica (mudflow) para corrida de lama (mudflood). O que na verdade talvez seja melhor traduzido como fluxo de lama e inundação por lama, respectivamente. O fluxo arrastou sedimentos naturais da área (de granulometria variável - entre material lamoso e o que ali é denominado de "pedras de mão") oriundos do fundo do vale e do leito do rio. Por conseguinte, durante a recessão foram formados depósitos compostos de uma mistura de rejeitos e sedimentos naturais alterando a geometria do canal. Segue ainda a NT dando as características do estudo proposto no Plano de Trabalho e destaca algumas dúvidas que foram tratadas em reuniões específicas onde foram discutidos os seguintes aspectos:

- i) *adequabilidade do método proposto pela Fundação RENOVA para o levantamento,*
- ii) *possíveis erros gerados por incompatibilidade de escala e minimização desses erros por meio da análise de bancos de imagens pagas,*
- iii) *análises que minimizem erro de classificação pela adoção de trechos de referência como linha de base para a condição pré-desastre,*
- iv) *existência de imagens com datas mais próximas e mais distantes ao desastre que pudessem informar melhor sobre a evolução do impacto;*
- v) *caracterização da condição de referência apenas para 2021 e não abrangendo a série temporal, especialmente ao período anterior ao desastre;*
- vi) *exemplos de estudos que utilizaram o mesmo método para o levantamento de habitat físico e sua confiabilidade;*
- vii) *possibilidade de falso positivo quanto a recuperação do habitat pelo fato de se utilizar imagens durante a época de seca, em que as condições são mais estáveis, sem remobilização e disponibilização do sedimento de fundo, dentre outros pontos que podem ser vistos nas atas anexadas.*



O tema que mais gerou debate dizia respeito à necessidade de dados de antes do evento para comparação com os cenários do impacto e da recuperação. Questões ligadas ao período de levantamentos podem não ser adequadas por tratar-se de período mais estável, além de questionamento da falta de um protocolo para coletas de campo. Por fim o documento conclui com a demanda de que:

- i) O mapeamento dos habitats físicos deva obrigatoriamente produzir informações para os cenários pré e pós desastre, identificando os habitats nestes dois períodos, a partir de uma análise temporal, conforme já foi determinado e descrito na Nota Técnica da CT-GRSA 05/2020.
- ii) Fosse atendida uma lista de requisições na elaboração do estudo “Mapeamento de habitats físicos nos trechos T06 à T11 do Plano de Manejo de Rejeitos”

As requisições acima indicadas contém 8 itens que são abaixo listados (ipsis litteris):

- 1- *Incluir na análise do estudo o “Modelo Digital do Terreno” obtido pelo levantamento a Laser para representar a evolução física e morfológica do dano causado pelo rompimento da barragem de Fundão.*
- 2- *Detalhar e justificar a escolha de cada trecho que será utilizado como linha de base, denominados de “rios controle”. Cada trecho deve ser selecionado com base nas características similares do ponto de vista geológico, regime hidrológico (chuva e vazão), bem como área de drenagem e outros aspectos pertinentes.*
- 3- *O mapeamento dos habitats físicos deverá obrigatoriamente produzir informações para os cenários pré e pós desastre, identificando os habitats nestes dois períodos, a partir de uma análise temporal, conforme já foi determinado e descrito na Nota Técnica da CT-GRSA 05/2020. Neste sentido, a Fundação RENOVA deverá realizar esta comparação de maneira a sanar a questão de como se encontravam os habitats físicos antes do rompimento e como está sendo a evolução de sua recuperação ao longo do período de pós rompimento da Barragem de Fundão. Deverá conter ainda uma métrica e condições que possibilitará realizar esta comparação com possíveis levantamentos futuros. A Fundação RENOVA deverá empreender todos os esforços para o levantamento das informações, principalmente do cenário pré-desastre, como dados de vistorias e imagens de satélite.*
- 4- *Incluir na avaliação de habitats físicos as referências bibliográficas produzidas referentes a coleta e avaliação de sedimentos in loco. Utilizar os dados elaborados pelo LacTec, para ajudar no entendimento da dinâmica do sedimento. Também deverão ser incluídas informações de outros programas, tais como monitoramento da qualidade da água e sedimento/granulometria, batimetria do canal, sensoriamento remoto entre outros.*
- 5- *O estudo deverá deixar explícito que o levantamento a ser apresentado se refere a macrohabitats aquáticos e, por esse motivo, apresenta limitações em relação à caracterização dos impactos ambientais e do avanço da recuperação dos trechos estudados. A avaliação dos impactos nos microhabitats aquáticos e na biodiversidade aquática não são foco deste estudo e as diretrizes para tal temática são de competência*



da CT-Bio. Nesse contexto, ficará sob decisão da CT-BIO, a utilização dos dados produzidos pelo estudo de mapeamento dos habitats físicos nos PGs acompanhados por esta CT, incluindo o PG-28.

6- O mapeamento dos habitats intracalha deverá levar em consideração, de forma qualitativa, o ambiente extracalha de áreas de interesse e de singularidades, considerando, para tanto, as informações das margens e as informações pré e pós-rompimento, visto que esse ambiente é de extrema relevância para os processos hidrodinâmicos e de conectividade lateral com sistemas terrestres. As informações a serem levantadas terão como finalidade fornecer informações complementares para o mapeamento e análise de diversidade dos habitats físicos intracalha, e terão o nível de detalhamento compatível com esse fim, de forma a caracterizar qualitativamente os aspectos sedimentológicos.

7- A NHC deverá apresentar o protocolo (referência) a ser utilizado para caracterizar os diferentes tipos de habitats. Existem várias morfologias de canal, substrato, margem e zona ripária que devem ser identificados conforme protocolos específicos e que não foram mencionados no plano de trabalho. Esse protocolo deverá ser capaz de fornecer, no mínimo, os seguintes dados: (1) lista de unidades geomórficas existentes (ou seja, presença/ausência) em um determinado trecho (ou sub-trecho); (2) número (frequência) de cada unidade; (3) tamanho (comprimento e/ou área) de cada unidade; (4) caracterização das unidades geomórficas em escala de bacia; (5) descrição das características do sedimento (tamanho, alteração do substrato), condições hidráulicas, características da vegetação; (6) identificação de processos formadores; (7) medidas de tamanho de feições (largura, comprimento); (8) percentual de cobertura vegetal do canal; (9) interferências humanas (pontes, canais, barragens); etc.

8- Em casos de inexistência de imagens de satélite em resolução adequada para determinado trecho, ou impossibilidade técnica de imageamento por ARP, ou ainda em locais de mata fechada que impeçam a identificação dos habitats e a caracterização de determinada morfologia, a Fundação RENOVA deverá realizar levantamento de campo, para a produção de um produto final que contemple o maior número de habitats.

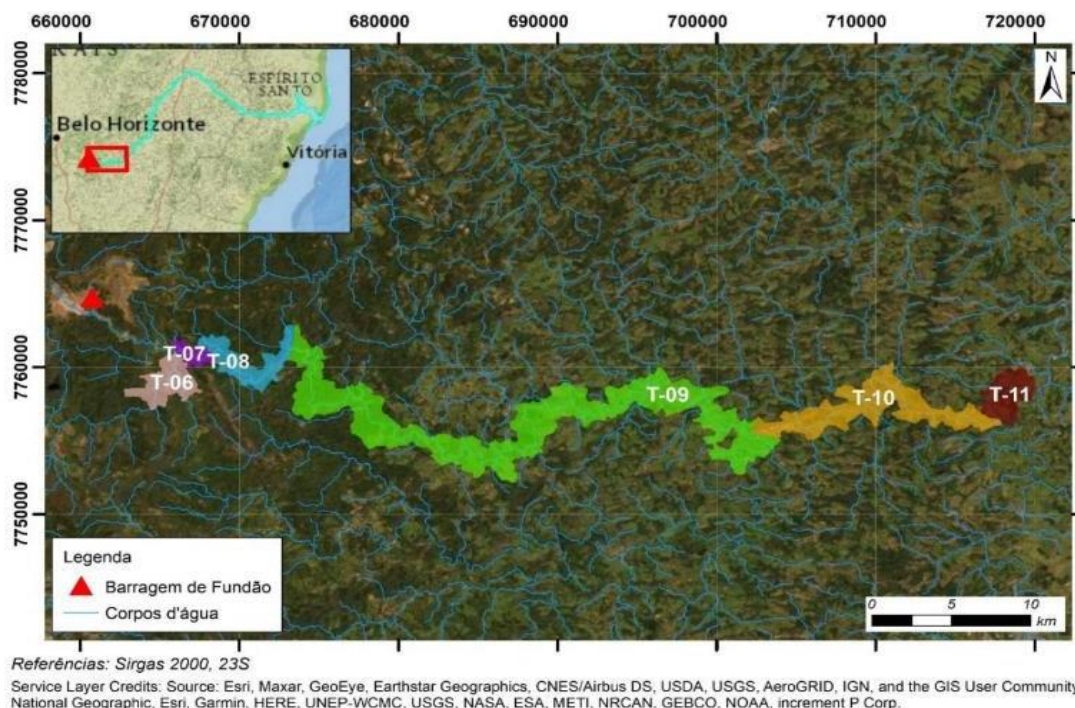
4.1.5. Documento 5 – Documento CIF deliberando em relação à Nota Técnica CT-GRSA no.10/2021, quanto a aprovação do plano de trabalho referente ao “Mapeamento de habitats físicos nos trechos T06 à T11 e definição da condição de referência (Rev. 2)”.

O documento 5, diz respeito à Deliberação CIF no.516, de 18 de junho de 2021. Neste documento de duas páginas assinado pelo presidente do CIF foram aprovadas as conclusões da Nota Técnica CT-GRSA no.10/2021 no que dizia respeito à Avaliação do Plano de Trabalho referente ao "Mapeamento de habitats físicos nos trechos 06 à 11 e definição de condições de referência (Rev.2)". Além da aprovação do citado documento, o CIF indicou ainda que o mesmo mapeamento deveria produzir informações par aos cenários pré e pós desastre. Deveria, ali, identificar os habitats nos dois períodos a serem levantados a partir de uma análise temporal. Indicou ainda que a

as considerações e requisições contidas na Nota Técnica CT-GRSA no.10/2021 sejam cumpridas pela Fundação RENOVA. Que esta mesma fundação levasse em consideração possíveis sobreposições com outros mapeamentos, ou estudos similares que possam estar sendo executados no âmbito do sistema CIF, evitando sobreposição de atividades semelhantes.

4.1.6. Documento 6 - Relatório do Produto 2 “Mapeamento dos Habitats Para o Ano de 2019” do estudo de “Mapeamento de Habitats Físicos nos Trechos T06 à T11 e Definição da Condição de Referência”

O documento 6, corresponde ao Produto 2 do escopo do estudo previsto no Plano de Trabalho da Fundação Renova. Teve como objetivo o mapeamento sistemático das estruturas de “habitats físicos” (cascatas, corredeiras, rápidos e remansos/poços) nos trechos T06 à T11 para o ano de 2019. Em específico o relatório apresenta: imagens selecionadas para a realização do mapeamento; mapas dos “habitats físicos” (ano base 2019); classificação da granulometria predominante na camada ativa do leito ao longo do rio Gualaxo do Norte; mapa das condições das margens; base de dados construída quanto a presença de “habitats físicos” e demais parâmetros mapeados, utilizada na etapa de análise integrada dos resultados. Os trechos estudados são descritos sucintamente e é apresentado um mapa de situação dos mesmos (reproduzido abaixo como Figura 2).



Fonte: NHC, 2022

Figura 2: Área de estudo e trechos do PMR correspondentes ao Rio Gualaxo do Norte (T06 a T09), Rio do Carmo (T-10) e Rio Doce (T-11).



O documento apresenta o referencial teórico e os procedimentos metodológicos partindo de uma definição do que se passou a denominar “Habitats Físicos” tendo como referências as já citadas e comentadas na análise do Documento 3 (Referências bibliográficas). Discorre sobre o mapeamento sistemático de canais fluviais tendo por base a avaliação visual. Com isso se busca entender as condições das características de “habitats físicos” sem a necessidade de coleta de dados e de observações de maior detalhe a partir do solo. Utilizou-se apenas de mapeamento sistemático de habitats físicos do rio utilizando imagens aéreas de alta resolução obtidas com drone em sobrevoo de baixa altitude. Na sequência o documento tece justificativas para o uso da metodologia e cita referências quanto a estudos já realizados com a mesma abordagem em rios nos EUA e no Canadá. No entanto não citam trabalhos em áreas tropicais onde planícies fluviais tenham relativa importância e que possuam razoável semelhança com a área do estudo. Ainda segundo o documento, as interpretações são feitas visualmente onde são distinguidas características físicas da morfologia (material e forma do leito) e da hidráulica fluvial (profundidade e velocidade do escoamento) da área de estudo. Com o auxílio de ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) o mapeamento foi descrito como iniciado a partir do delineamento manual das margens do rio (delimitação de um primeiro polígono), e das áreas secas do canal, correspondentes à bancos de sedimentos aparentes, rochas, troncos, etc. (delimitação de um segundo polígono). A partir desses delineamentos se determinou o canal ativo do rio e sequencialmente foram delimitadas as áreas de abrangências das unidades de “habitats físicos” ao longo do rio.

Na sequência, os “habitats físicos” foram classificados segundo o que ali foi denominado de unidades geomórficas: (cascatas, corredeiras, rápidos, remansos/poços, estruturas alternadas de quedas e poços – step and pool, etc.). Segundo o descrito no documento, a escolha pelo uso de quatro “macro” classes (mesohabitats) teve como base a escala do estudo e a necessidade de comparação entre diferentes momentos (referência, 2019 e 2021). Ainda segundo o documento, um menor número de classes tornaria os resultados mais robustos, estatisticamente. No entanto, não se verificou uma validação prévia das classes com os locais “in situ”. Abaixo se apresenta (ipsis litteris) na Figura 3 a tabela de classificação utilizada e apresentada no documento do estudo.

CLASSE	FORMA TOPOGRÁFICA	VELOCIDADE DO FLUXO EM CONDIÇÕES DE BAIXA VAZÃO	PROFUNDIDADE RELATIVA
Poço/remanso (<i>pools</i>)	Leito côncavo, ponto mais profundo substancialmente abaixo do leito, em algum ponto a jusante	Lenta	Profunda
Rápido(s) (<i>runs/glides</i>)	Leito plano com gradiente moderado abaixo. Superfície da água levemente inclinada.	Moderado a lento	Moderado
Corredeira (<i>riffles</i>)	Leito plano, frequentemente pontos altos locais ao longo do perfil talvegue	Rápido, turbulento	Raso
Cascata (<i>cascades</i>)	Leito com inclinação íngreme.	Muito rápido (supercrítico)	Raso

Fonte: NHC, 2022

Figura 3: – Classes de “habitats físicos” utilizados no mapeamento sistemático do canal fluvial.



Em relação a parâmetros complementares o documento coloca que a granulometria foi estimada, no contexto da camada ativa do leito considerando como elementos: cascalho e "pedra de mão". O estudo considerou, ainda, que o material depositado em praticamente toda a área impactada dos rios era majoritariamente composto por rejeitos (caracterizados por granulometria fina, silte ou menor), qualquer identificação de material mais grosseiro (areias, cascalho, pedra de mão, ou maior) indica que o rejeito que ali existia após o evento teria sido removido por erosão seletiva e tendo havido portanto alguma recuperação das características físicas do rio, de modo que, para atingir o objetivo proposto, não seria necessário a identificação direta do material fino.

4.1.7. Documento 7 - Relatório do Produto 3 “Definição da Condição de Referência para os Trechos T10 e T11” do Estudo de “Mapeamento de Habitats Físicos nos Trechos T06 à T11 e Definição da Condição de Referência”

O documento 7, acima indicado, destaca os trabalhos executados pela empresa NHC para a fundação Renova fazendo uso da metodologia de Mapeamento de Habitats Físicos" como descrito no Plano de Trabalho (Documento 2 do presente Relatório) e em atendimento ao requerido pela NT-GRSA No.10/2021. Ali também fora indicado que o atendimento da NT foi parcialmente realizado (totalmente para a requisição 1 e parcialmente para as 3, 6 e 7), justificando-se que a totalidade das requisições somente poderá ser atendida com a execução dos 6 produtos acordados. O documento cita que para o estudo foram tomadas como base imagens de satélite anteriores ao evento, imagens aéreas existentes para o ano de 2019 e do ano de 2021 (nos rios impactados e rios da região) de melhor qualidade possível, uma vez que inexistia informação em detalhamento suficiente, e comparável ao levantamento realizado após o desastre. O foco do relatório ateu-se aos trechos T10 e T11. A extensão do estudo corresponde a uma faixa linear de aproximadamente 33 km, com área de drenagem variando de aproximadamente de 2.060 a 8.900 km². Neste trecho o rio do Carmo foi identificado como possuindo largura típica variando de 40 a 70 m e o rio Doce em torno de 100 m (10 km a montante do reservatório de Candonga). O trecho 10 do rio do Carmos representando 25,6 km e o rio Doce nas condições citadas, 7,1 km.

Seguindo a metodologia proposta pelo Plano de Trabalho foram utilizadas imagens de satélite obtidas pela fundação Renova na região no período anterior ao evento de 2015. O relatório ressalta que as imagens, por corresponderem a um mosaico obtido de satélites distintos, com diferentes resoluções espaciais (variando entre 0,50 m e 1,50 m) não se prestaram ao uso para mapeamento de habitats como proposto. Assim, foram utilizadas imagens Google Earth devidamente datadas e posteriormente tratadas

segundo metodologia específica com georreferenciamento relacionado a aerolevantamentos recentes. A combinação de procedimentos de correção e georreferenciamento possibilitou uma resolução compatível para a realização do estudo onde foram tratadas em ambiente de SIG (Sistema de Informações Geográficas) para a classificação de habitats e realização de análises geomorfológicas.



Face às limitações apresentadas no relatório em função das dificuldades de obtenção de imagens da área nas condições desejadas, os resultados permitiram apresentar um mapeamento quantitativo e sistemático. Este levantamento foi realizado para período anterior ao evento de rompimento da barragem de Fundão, e permitiu analisar o canal, ali denominado, ativo englobando declividade, parâmetros relacionados às condições de margem, barras de sedimentos, bem como os habitats físicos.

A declividade média geral foi indicada como da ordem de 0,0015 m/m, com um desvio padrão de 0,0013. A área molhada média do canal ativo foi dada como 1.900.932 m², representando 80% do canal ativo. Em média o T11 apresentou área molhada maior em relação ao canal ativo no trecho correspondente ao rio do Carmo.

Em relação aos habitats físicos tomando o ano de 2014 como referência, no T10 não houve identificação de cascatas, 19,8% corresponderam a corredeiras, 10,7% a Poço/Remanso, 16,9% a Rápidos. No entanto, em 52,6% da área não foi possível realizar a classificação. Em relação ao T11, cascatas representaram 0,2% dos habitats, 14,7% corredeiras, 39,2% Poço/Remanso, 24,1% Rápidos e 21,8% das áreas sem possibilidade de classificação. No tocante a sub-trechos (T10a e T10b) a porção mais a jusante, T10b, foi a que apresentou maior dificuldades de classificação (60,5% de áreas não classificadas). No T11 (com sub-trechos a, b e RPG), a área mais a montante (T11a) foi a que se mostrou maior dificuldade de classificação (36,9%), contígua portanto ao sub-trecho de jusante do T10, onde também houve maior dificuldade (Ver Figura 04). Quanto às condições de margem nota-se, pelos resultados, um aumento na área arbustiva de montante para jusante (de 27% a 71%), bem como de leito rochoso (de 8,6% a 28,8%), este último até o T11b. Níveis de erosão se mostraram muito fracos em todos os trechos e sempre abaixo de 5% das áreas levantadas. Vegetação densa mostrou-se variando entre 5,5% e 10,6% (Ver Figura 05).

Assim, face ao levantado o estudo produziu figuras resumo de modo a qualificar o cenário ali identificado para o ano de 2014 tanto para a classificação dos "habitats físicos", largura do canal e declividade quanto para as condições de margem. Essas informações ali destacadas podem ser visualizadas nas figuras que seguem, conforme já abordado anteriormente.

Figura 12 - Visão geral dos resultados do mapeamento sistemático dos habitats físicos plotadas ao longo do rio do Carmo (T10) e rio Doce (T11).

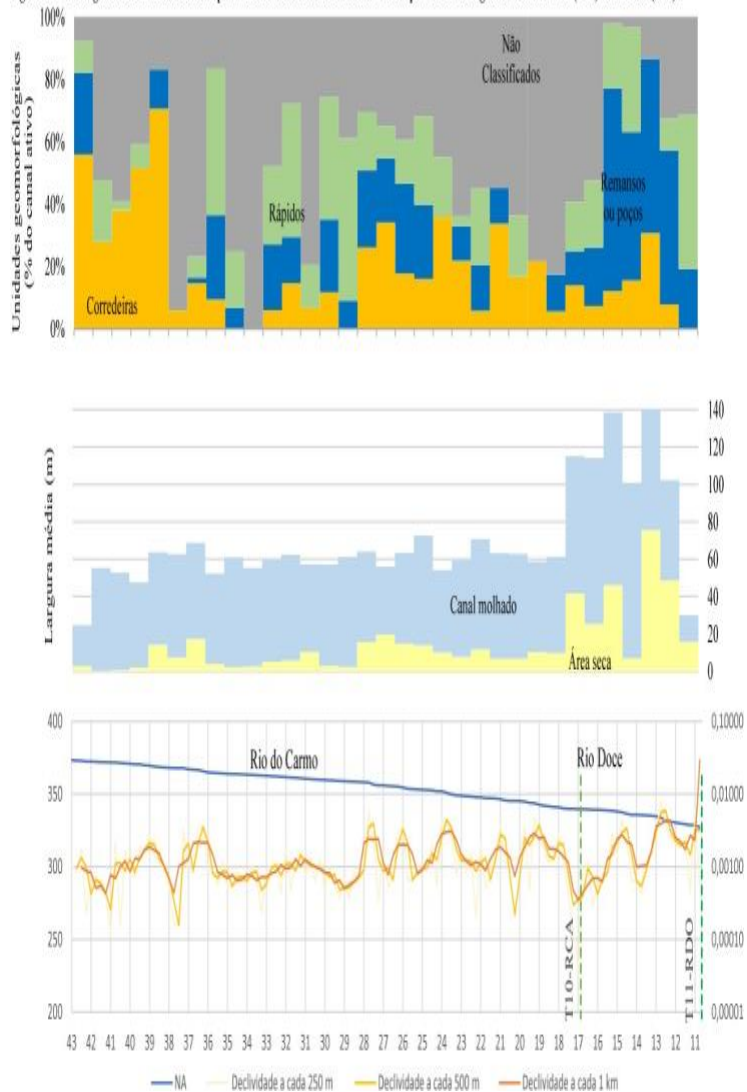


Figura 04. Imagem retirada do Documento 7 indicativa do cenário para o ano de 2014 referente aos "habitats físicos" identificados, variação na largura do "canal molhado" e da declividade nos trechos estudados.

Figura 13 – Condição de margem por trecho de análise.

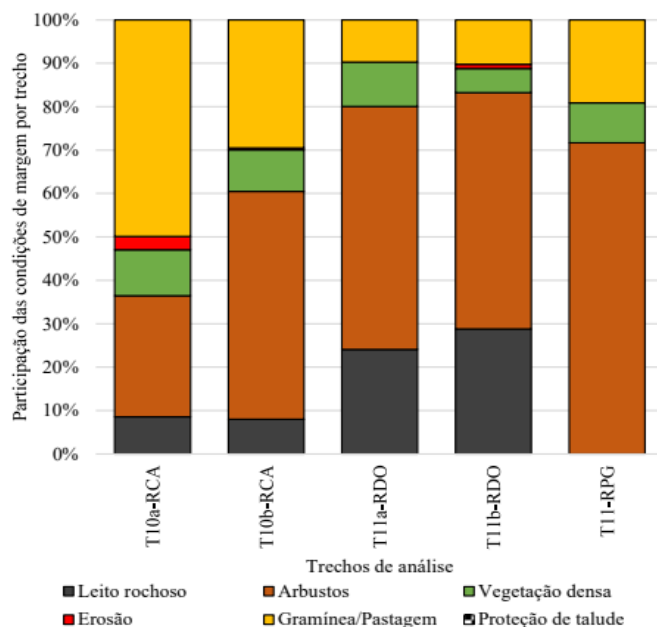


Figura 05. Resumo das condições de margem encontradas nos trechos analisados no Documento 7.

4.1.8. Documento 8 - Mapeamento de Habitats Físicos nos Trechos T06 à T11 e Definição da Condição de Referência - Definição da Condição de Referência para os Trechos T06 à T09

De forma semelhante ao anterior o Documento 8, trata também das condições de referência. Destaca os trabalhos executados pela empresa NHC para a fundação Renova fazendo uso da metodologia de Mapeamento de Habitats Físicos" como descrito no Plano de Trabalho (Documento 2 do presente Relatório) e em atendimento ao requerido pela NT-GRSA No.10/2021. No entanto, diz respeito aos trechos T06 à T09. Se debruça mais diretamente sobre o rio Gualaxo do Norte e as confluências de seus tributários que apresentaram os impactos mais diretos do evento de 2015, carecendo, portanto, de uma descrição um pouco mais pormenorizada que o anterior (Documento 7).

O Documento 8 define os valores de referência quanto aos "habitats físicos" nos trechos supracitados, porém num contexto sem perturbação, ou seja em período anterior ao evento de rompimento da barragem do fundão. Além de informações das áreas selecionadas para o estudo, o apresenta os procedimentos metodológicos empregados, critérios de seleção das áreas de referência, procedimentos utilizados no levantamento e processamento de imagens em campo, os resultados da presença de habitats físicos em rios da região com características similares ao rio Gualaxo do Norte (condição de referência para rios não impactados pelo rompimento) e os respectivos mapas gerados.



Para o estudo das condições de referência o documento indica como sendo ideal que, para o porte dos rios da área de estudo, seria mais adequado utilizar imagens de resolução espacial da ordem de poucos centímetros, permitindo a identificação de pequenas feições de leito do rio. Estas se prestariam melhor à interpretação e definição da área de abrangência de cada habitat físico. No entanto, reporta que não se tem conhecimento de imagens de aerolevantamentos de alta resolução com cobertura abrangente na área de estudo rio Gualaxo do Norte. Deste modo, imagens de satélite de período anterior ao rompimento da barragem de Fundão foram definidas como fonte prioritária de informação. Ademais, face à largura relativa do canal do rio Gualaxo do Norte ser de pequenas dimensões, especialmente no seu trecho de montante, onde sua calha é confinada, a vegetação ciliar ali existente antes do rompimento obstruía significativamente a visualização do leito do rio em sua totalidade, dificultando a abordagem com o uso de imagens de satélite.

Considerando as limitações supradescritas para o dado contexto, o Documento 8 destaca que foram utilizadas na avaliação imagens de satélite de momentos anteriores ao rompimento com resolução espacial variando de 0,35 à 1,0 m. Indica ainda, que ao longo dos trechos T06 ao T08, numa fase anterior ao rompimento se observava nas imagens a presença de vegetação ciliar de porte relativamente importante obstruindo, ainda que parcialmente, a visão do leito do rio e assim, fornecendo informações limitadas sobre as características do leito do curso d'água. Esta vegetação foi praticamente toda removida como consequência do fluxo de lama gerado pelo evento. Já para o trecho T09 se tinha uma situação em que as margens e as planícies de inundação eram majoritariamente ocupadas por pastagens ou vegetação de pequeno porte permitindo uma melhor visualização das características do leito associadas a uma maior largura do canal fluvial. Portanto, em acordo com o que cita a bibliografia utilizada como referência e aqui analisada no Documento 3, até o T08 as condições do canal fluvial se coadunam perfeitamente ao que é sugerido pela metodologia proposta para a avaliação. A partir do T09 com a presença de planícies fluviais as condições de campo já apresentam variáveis que inserem ao sistema fluvial maior complexidade ao processo de avaliação, ainda que a mesma metodologia de análise seja passível de aplicação.

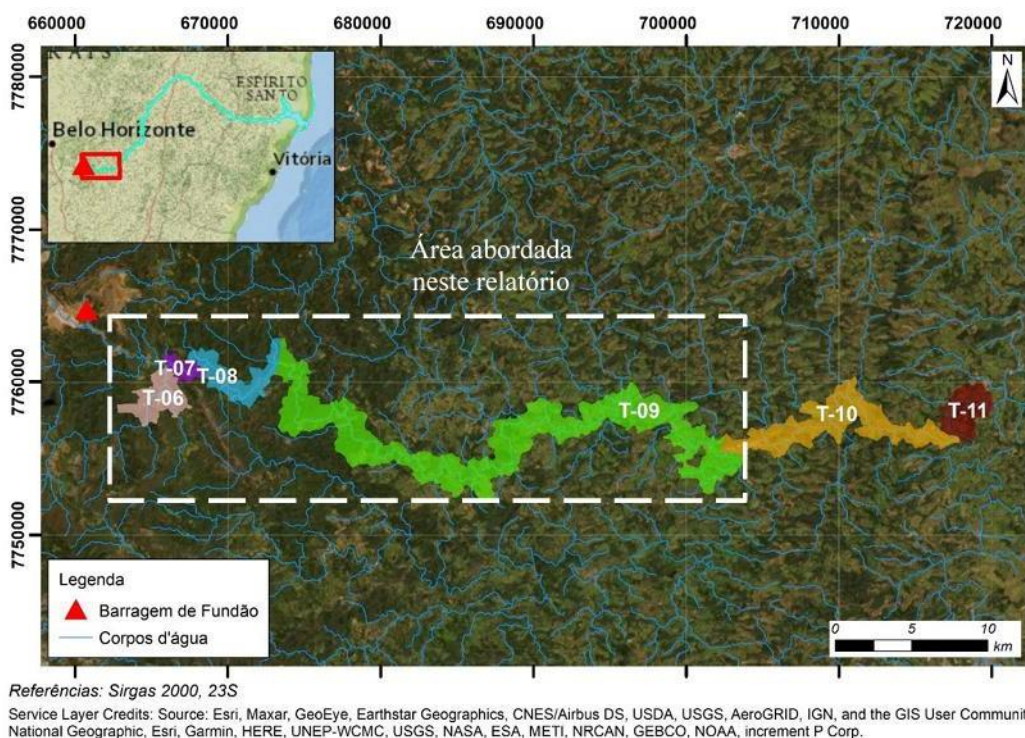
Considerando ainda, as dificuldades quanto ao uso das imagens históricas para que fosse possível realizar um mapeamento dos objetos de análise mais abrangente ao longo dos trechos T06 à T08, se utilizou de imagens de alta resolução de outros rios da região não atingidos pelo rompimento. Para tanto, tomou-se a precaução de que esses outros corpos d'água possuíssem características similares às dos trechos em epígrafe e assim ser possível definir uma referência da condição prévia do rio Gualaxo do Norte antes do rompimento da barragem.

Ainda que imagens históricas possam ser utilizadas para se realizar o mapeamento de habitats no trecho T09, para se manter a consistência metodológica, optou-se por utilizar imagens históricas de subtrechos deste, juntamente com informações do mapeamento de habitats de rios da região para a definição dos valores de referência. Assim, a área de estudo descrita no Documento 8 correspondeu à área impactada do

Rio Gualaxo do Norte e, complementarmente, a trechos de rios da região, com similaridade ao trecho impactado naquele curso d'água. Incluindo trechos de rios em mais de 10 municípios no estado de Minas Gerais.

O trecho impactado do rio Gualaxo do Norte (T06 à T09) possui aproximadamente 78 km de extensão, com área de drenagem variando de aproximadamente 130 a aproximadamente 660 km², conforme o trecho. Como característica geral o rio Gualaxo do Norte é apresentado como um rio misto, com vales encaixados – íngremes e confinados, de leito rochoso, intercalados com cursos aluviais moderadamente confinados. Ao longo da área de estudo sua largura típica foi tida com de aproximadamente 10 m na área mais a montante e de 20 a 25 m nas proximidades da confluência com o rio do Carmo. A Figura 06, abaixo, indica a área que foi abordada no Documento 8 em complementação àquela abordada anteriormente no Documento 7.

A Figura 07, por sua vez, indica os demais trechos selecionados para determinação das condições de referência e sua relação com os trechos onde rios foram diretamente impactados. No total foram levantadas 34 áreas de levantamento em rios da região, totalizando 66 trechos de referência.



Fonte: NHC, 2022

Figura 06. Trechos destacados no Documento 8 (trechos T06 a T09) em complementação ao que foi realizado no Documento 7 (trechos T10 e T11).

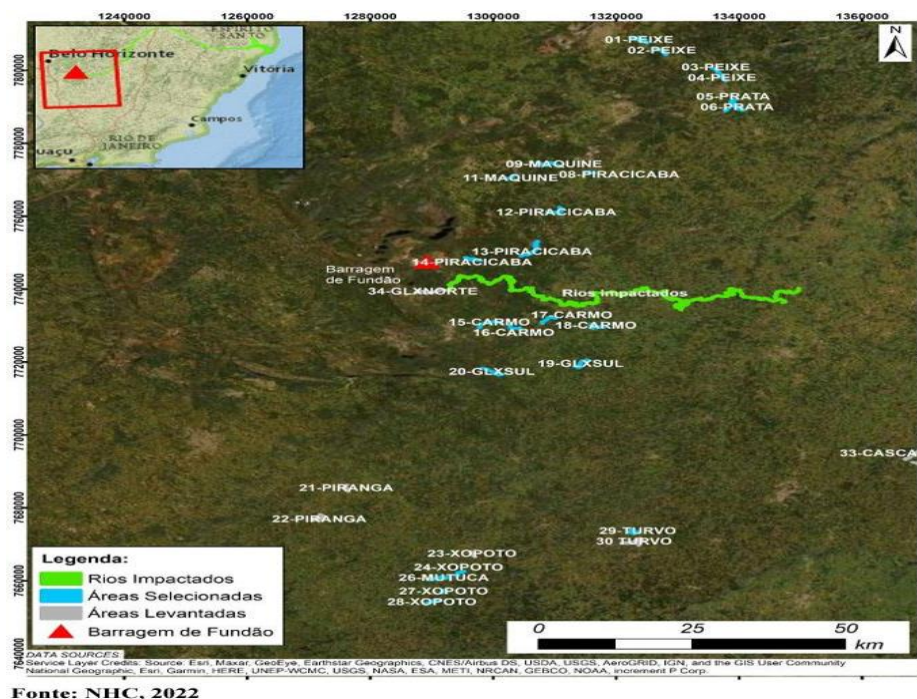


Figura 07. Trechos selecionados de rios adicionais tomados como referência e rios impactados (T06 a T11).

Em termos de dimensionamento dos trechos estudados: T06, T07, T08 e T09, estes possuem, respectivamente as seguintes dimensões (extensão): 7,7km; 3,2km; 9km e 58km, perfazendo um total de 77km. Quanto aos critérios de levantamento, determinação de classes e demais objetos de análise, foram utilizados os mesmos critérios citados no Plano de Trabalho e já citados também no Documento 7.

Para que se pudesse utilizar os demais corpos d'água na análise, um importante critério utilizado foi a declividade, baseado em resultados preliminares do mapeamento de "habitats físicos" no rio Gualaxo do Norte. Trechos de alta declividade (como cascatas), no rio Gualaxo do Norte, indicaram terem recuperação mais rápida dos citados "habitats" do que locais de menor gradiente energético (com baixas declividades). Portanto, trechos de menor declividade foram priorizados e adotou-se a premissa de que quando considerados recuperados, por consequência, os trechos de maior gradiente energético também o estariam. Neste contexto, para fins da avaliação, foram definidas três classes de porte do rio conforme a área de drenagem (80-200 km², 200-400 km², e 400-660 km²) e três classes conforme a declividade (<0,002 m/m; 0,002 a 0,004 m/m e 0,004 a 0,010 m/m). Combinadas, estas classes resultam em nove classes de análise.

Seguindo a demanda da NT-GRSA 10-2021, o documento incluiu imagens de satélite anteriores ao rompimento e que apresentavam boa visibilidade do rio. Apresentou os trechos divididos nas classes adotadas e analisados em conjunto com os demais trechos



de referência dos rios da região. Todos apresentando áreas de drenagem acima de 400 km², com declividade variável entre as três classes de inclinação definidas. Além dos critérios de declividade e área de drenagem, a seleção dos trechos de referência levou em consideração a similaridade com os trechos avaliados do rio Gualaxo do Norte para outros parâmetros, como: pluviometria, ocupação tipo e uso do solo da área de drenagem e características geomorfológicas de confinamento. Ademais, considerou-se como fator de seleção a sobreposição espacial com outros estudos e as condições de acesso.

Assim, 68 trechos de referência foram pré-selecionados, destes 52 para realização do mapeamento de habitats. A partir das imagens históricas selecionadas no rio Gualaxo do Norte, o documento indicou um total de 55 trechos de referência, sendo 52 trechos em rios da região e com características similares ao rio Gualaxo do Norte e 3 neste último. A tabela 5 do Documento 8 (Pgs.15, 16 e 17) apresenta uma extensa lista com os trechos selecionados e suas principais características de base utilizadas.

Para o levantamento das informações utilizou-se de aerolevanteamento por drone com sistema automático de disparo e sincronismo de dados, ângulo normal e registro de detalhes sem distorções. Os voos resultaram em imagens com resolução de 2 cm a 4 cm. Esta resolução permitiu, segundo o documento, uma avaliação do material que compõe o leito, diferenciando-o entre cascalho, areia ou finos. Adicionalmente, para avaliação dos processos fluviais dominantes na formação e recuperação de habitats físicos, foram coletadas imagens de barras fluviais. O equipamento utilizado no levantamento foi um drone Mavic 2 Pro. A superfície do terreno foi determinada por meio de técnicas de aerofotogrametria, com área de recobrimento de 75%. Assim, o aerolevanteamento foi realizado entre os dias 10 e 18 de setembro de 2021. Os planos de vôo foram definidos a partir de pontos de trajeto posicionados em cima dos rios de interesse, bem como os raios de curvatura entre os pontos. A altitude de sobrevoo foi de 120 m referente ao terreno/superfície da água no momento (portanto altitude variável), a precisão aproximada foi dada como de 2 a 4 cm por pixel.

Quanto aos resultados, da quantidade de amostras selecionadas, de acordo com as características para definição da condição de referência, 17 dos 55 trechos foram classificados como do tipo A (área de drenagem entre 80 e 200km²), 22 como do tipo B (área de drenagem de 200 a 400km²) e 16 como tipo C (área de drenagem entre 400 e 660km²). Em relação à declividade 20 foram classificados como do tipo 1 (<0,002 m/m); 15 como do tipo 2 (entre 0,002 e 0,004 m/m) e 20 como do tipo 3 (entre 0,004 e 0,01 m/m). Fazendo os cruzamentos, 6 trechos foram classificados como A1, 4 como A2, 8 como A3, 9 como B1, 5 como B2, 8 como B3, 5 como C1, 6 como C2 e 5 como C3.

Em relação à análise do canal ativo os resultados mostraram que os trechos com maior área de drenagem (classe “C”) apresentaram um menor percentual de área seca, o que significa, segundo a abordagem utilizada, menor presença percentual de barras de sedimentos. Os resultados não mostram correlação evidente entre a declividade e a



relação entre área seca e molhada do canal. Já com relação aos "habitats físicos", 47,39% dos trechos apresentaram rápidos, 21,35% Poço/Remanso, 30,74% de corredeiras e 0,52% de cascatas. E os trechos classificados como B1, B2 e C1 foram os que apresentaram maior quantidade de rápidos (>50%), em relação a Poço/Remanso, os trechos classificados como A1 e A3 foram os que se destacaram e apresentaram mais de 25% de trechos com essa categoria de "habitat". Do ponto de vista das corredeiras, os trechos classificados como A2, B3 e C2 forma os mais representativos com mais de 35% de áreas com habitats assim classificados. Assim, rápidos estiveram mais presentes nas classes B2, corredeiras em C3, poço/remanso em A3 e cascatas em C3, porém em baixíssima quantidade (manos de 1% na grande maioria).

Em relação às condições de margem o documento destaca (pg.42) que:

[...]Em todas as análises realizadas (considerando os 55 trechos de referência e considerando as classes de análise), mais de 50% das margens possuíam vegetação, alternando a dominância entre vegetação densa e arbustos. A terceira classe mais dominante em todos os casos é a pastagem, seguida da classe erosão. A presença de estruturas de proteção de margens e taludes é rara, e a presença de margens com leito rochoso é baixa.

... sendo que a vegetação densa ocupava mais de 40% das margens nos trechos classificados como B1, B2, B3, C2 e C3.

Ademais do acima indicado, a partir dos resultados preliminares da análise dos resultados do mapeamento de habitats para o ano de 2019 e a condição de referência para os trechos T10 e T11 (produtos 2 e 3), o Documento 8 destaca a existência de uma maior presença de habitats do tipo corredeira em locais com maior declividade. Já em relação às condições de margens, destaca-se que raras estruturas de proteção de margens e talude foram observadas. Ademais, baixa presença de margens com leito rochoso e que em todas as classes se observou mais de 50% de margens vegetadas se alternando entre densa e arbustiva. Por fim, a classe de cobertura vegetal encontrada como a terceira maior em todos os casos foi pastagem, e a quarta erosão.

Por fim, o Documento faz uma ressalva quanto às análises. Indica que as mesmas se limitam para a definição da condição de referência para os trechos T06 a T09, não tendo sido realizada análise comparativa com outras informações e outros estudos.

4.1.9. Documento 9 - Mapeamento de Habitats Físicos nos Trechos T06 à T11 e Definição da Condição de Referência - Mapeamento dos habitats para o ano de 2021

O Documento 9 é o quinto produto do Estudo de Mapeamento de "Habitats Físicos" dados para os Trechos T06 à T11. Trata da definição da condição de referência, conforme aprovado no plano de trabalho indicado na Nota Técnica CT-GRSA No 10 de 2021 e na deliberação CIF No 516 de 2021. O Documento apresenta dentro da abordagem metodológica já esplanada anteriormente, as informações das áreas selecionadas para o estudo a descrição das atividades referentes ao mapeamento de



habitats do ano base de 2021, os resultados referentes à presença dos "habitats físicos" ao longo dos trechos T06 à T11 e os respectivos mapas gerados. No mais, indica que foi observada o que parece ser uma tendência quanto a uma maior presença de corredeiras no rio Gualaxo do Norte, na sequência vindo os rios do Carmo e Doce. Destaca ainda que, nos rios Carmo e Doce a presença de material que poderia vir a ser associado à presença de rejeito (material fino de cor escura) na camada superficial do leito é praticamente nula. Ressalta ainda que as análises ali apresentadas se limitam aos resultados dos trabalhos realizados relativos ao ano de 2021. Assim, não foram realizadas comparações com outros estudos.

Em relação ao modo de levantamento, vale acrescentar que nesta fase foi utilizado o drone Matrice 300 RTK com Sistema de aerofotogrametria e perfilamento laser (LiDAR²) integrados. O sistema utilizado permite registrar simultaneamente dados topográficos e coletar imagens para o mapeamento. O perfilamento a laser e levantamento de imagens foi realizado entre os dias 20 de agosto de 2021 a 28 de agosto de 2021. Mais uma vez, o período foi escolhido em função do momento em que os rios apresentam baixa turbidez, baixa profundidade, o que segundo o estudo facilitou a identificação das feições do leito do rio, bem como das barras de sedimentos.

Um Modelo Digital de Terreno (MDT) foi criado e a interpolação dos dados do laser com os dados da cartografia foi realizada em ambiente de Sistema de Informações Geográficas. As imagens foram ortoretificadas, processadas e ajustadas ao MDT para validação. A partir daí, seguindo a metodologia de tratamento já analisada, realizou-se o mapeamento dos "habitats físicos" e do canal fluvial para o ano de 2021. Os canais dos rios analisados foram delimitados, os materiais predominantes foram determinados no que ali se denominou a "camada ativa do rio" e também foram analisadas as condições de margem, de modo semelhante ao já analisado em documentos anteriores.

Para efetivamente se poder analisar a topografia foi elaborado um Modelo de Elevação Relativa (MER) com sombreamento direcional do relevo de modo a normalizar as informações de altura visando a realização análises comparativas ao longo dos trechos estudados considerando incluir aí dados de geomorfologia fluvial. Adicionalmente foi elaborado o perfil longitudinal de modo semelhante ao que já havia sido realizado para os produtos anteriores.

Os resultados de declividade variaram de 0,0013m/m até 0,01m/m. Em média o valor obtido ficou por volta de 0,35%, o qual é bastante semelhante ao 0,30% indicado na literatura (SAADI E CAMPOS, 2015). Do ponto de vista da análise do "canal ativo" o estudo indicou (pg.29) que:

[...] No rio Gualaxo do Norte a porção de área seca é um pouco mais representativa que no rio do Carmo, ocupando em torno de 20% da largura do canal, comparado com 17%. O valor relativamente elevado do trecho T08 é induzido pela presença de

² LIDAR é um sistema de mapeamento que trabalha na faixa do infravermelho operando por feixes de laser com a função de detectar objetos, medir sua distância e movimento com alta precisão.

cachoeiras no trecho. A área impactada no rio do Carmo a montante da confluência com o rio Gualaxo do Norte tem representatividade de área seca inferior (12%). No trecho T11, no rio Doce, especialmente na área mais a jusante, a presença de afloramentos de rocha é bastante expressiva, refletindo em uma grande parcela do canal ativo correspondente à porção seca (47%).

Para tanto, foi elaborada uma figura (ver a Figura 08 a seguir), que resume ocupação percentual de canal molhado e de área seca em relação a largura total do "canal ativo" dos rios ao longo dos trechos estudados. Nesta figura, a parcela em azul representa a proporção ocupada pelo canal molhado e a amarela a proporção ocupada pelas áreas secas.

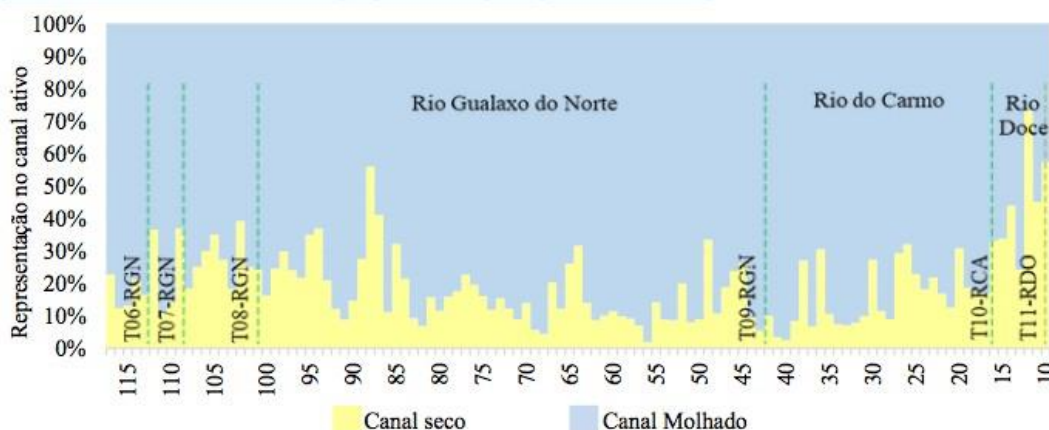


Figura 08. Comparativo entre as áreas seca e molhada do "Canal ativo" para os rios estudados no cenário estudado e relatado no Documento 9.

Do ponto de vista do material predominante na parte dita ativa dos rios o Documento indica, à pg. 30, que:

[...]O material mais grosseiro é encontrado em maior quantidade no rio Gualaxo do Norte e aparentemente é associado com trechos de maior declividade – e conseqüentemente de maior gradiente energético. A partir do rio do Carmo a presença de material fino (areais e menores) e escuro é quase nula (é encontrado somente no RK 24), o que também pode indicar uma recuperação das características físicas, seja pela erosão seletiva do material, ou pelo eventual recobrimento dele por sedimentos oriundos de trechos não impactados dos rios do Carmo e Piranga.

...e como uma visão geral apresenta um gráfico (Figura 09) onde se encontram compilados os resultados da composição predominante no canal molhado do leito plotadas ao longo do rio Gualaxo do Norte, Carmo e Doce e também o perfil de declividade.

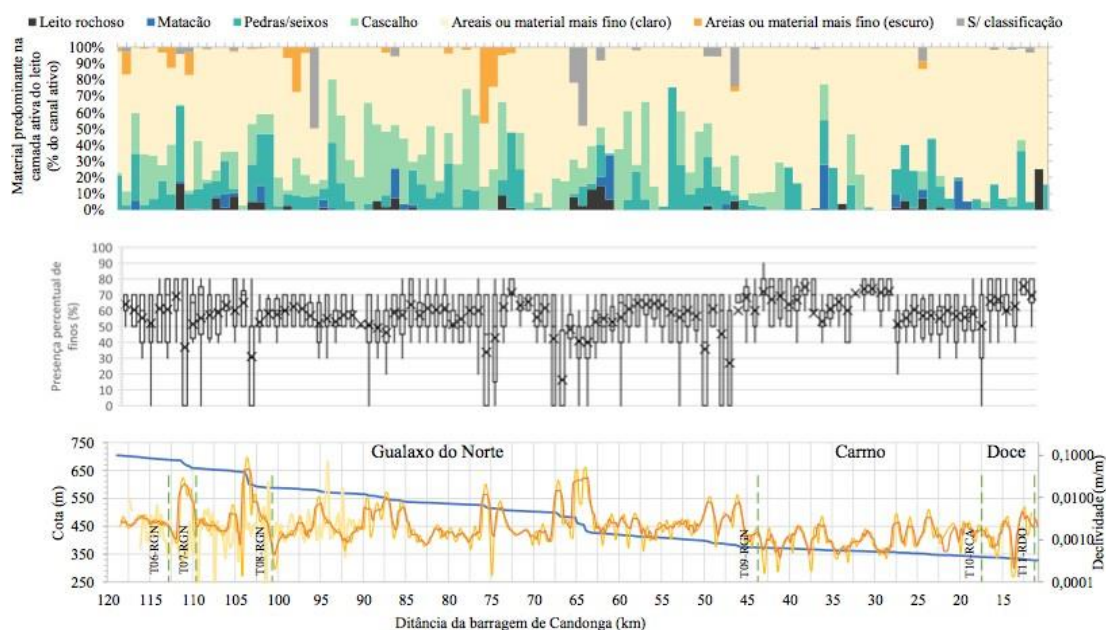


Figura 09. Resumo dos resultados encontrados no Documento 9 referentes à composição do material identificado no canal molhado e a declividade.

Quanto aos "Habitats físicos", a diversidade encontrada para o ano de 2021 indicou que o Trecho T07 (rio Gualaxo do Norte) apresentou rápidos expressivos, assim como os trechos T09 e T10 (rio do Carmo). No entanto, segundo o documento, as informações quanto à presença de "habitats físicos" no ano de 2021 avaliadas de forma isolada não são suficientes para afirmar que uma tendência de recuperação mais lenta naqueles trechos citados. Ademais, em T06 se detectou predomínio de corredeiras, correspondendo a quase metade da área do canal molhado (48%). Em T08 e T09 a presença de corredeiras é equivalente à presença de rápidos. Em T11- RDO e T11-RPG o habitat predominante é do tipo rápidos, mas sua presença é inferior à somatória dos habitats das classes corredeiras e remansos/poços.

Para dar uma imagem resumida do comportamento geral encontrado o Documento 9 apresenta uma visão comparativa dos resultados do mapeamento sistemático dos "habitats físicos" plotadas para cada trecho (ver Figura 10) Visualmente é perceptível que há uma concentração de rápidos em T09-RCA, seguido por T10-RCA e por T07-RGN.

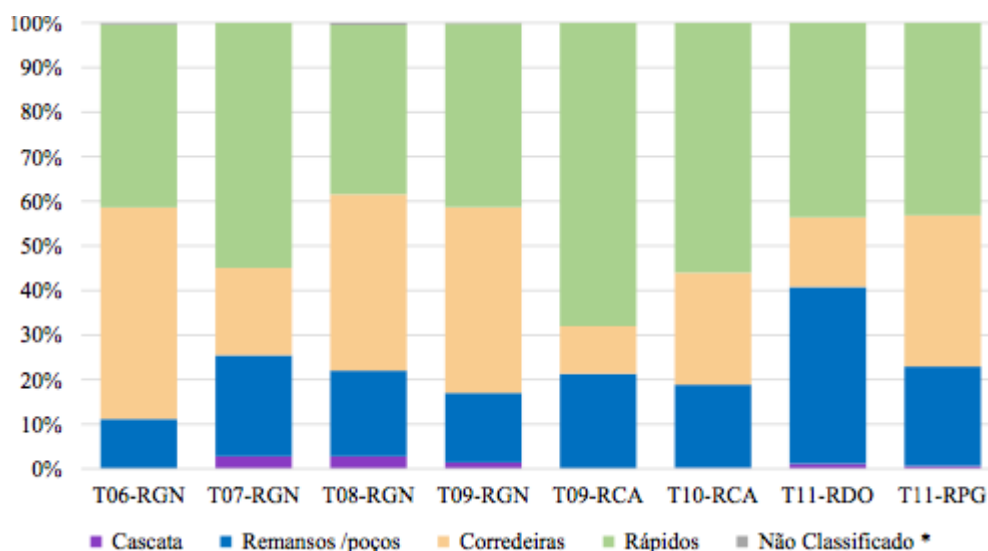


Figura 10. Comparação dos "habitats físicos" nos trechos de análise.

No tocante às condições de margem há uma tendência de diminuição das gramíneas/pastagens de montante para jusante à exceção do T09-RGN e de aumento da vegetação densa também de montante para jusante com áreas mais representativas no T11 (RDO e RPG).

Assim, como conclusão o Documento destaca que os rápidos e remansos apresentam percentual de finos muito similares. Tal fato é interpretado como uma recuperação do sistema limitada pela quantidade de trabalho que os rios foram capazes de realizar, comenta sobre expectativas da variabilidade das vazões e seu papel na recuperação das características físicas do leito fluvial, porém medições destes parâmetros não foram apresentadas.

A análise por trecho da presença de material fino indica que, à exceção do T07-RGN, o rio Gualaxo do Norte apresenta os menores valores de presença de material fino, juntamente com o T11-RPG. Este resultado é tomado como padrão quanto visto face a presença de habitats do tipo corredeira, e corredeira somada à remanso/poço.

Por fim, os resultados apresentados no Documento 9 são assinalados como indicativos de uma correlação entre heterogeneidade e diversidade de habitats com a declividade/gradiente energético. Ademais, uma aparente tendência de maior presença de corredeiras no rio Gualaxo do Norte, seguido do rio do Carmo e rio Doce é assinalada à semelhança do que já foi indicado em documentos anteriores. A presença de material que seria passível de associação à presença de rejeito na camada superficial do leito é considerada como praticamente nula.



4.1.10. Documento 10 - Mapeamento de Habitats Físicos nos Trechos T06 à T11 e Definição da Condição de Referência - Relatório Final

O Documento 10 apresenta o desfecho do que foi desenhado no Plano de Trabalho (Documento 2 deste relatório). Foi elaborado em atendimento a Nota Técnica da Câmara Técnica de Gestão de Rejeitos e Segurança Ambiental (CT-GRSA) No 10/2021 e a Deliberação CIF No 516/2021, resultantes do consenso entre as partes sobre a exclusão deste indicador – diversidade de habitats físicos - da lista dos indicadores fim do Programa Manejo de Rejeitos da Fundação Renova. Seu objetivo é apresentar os estudos quanto a avaliar e mapear os habitats físicos para condição de referência (pretéritos ao evento e de rios não impactados da região) e em dois momentos após o rompimento (anos de 2019 e 2021). É isto de modo a caracterizar os processos físicos que vêm ocorrendo ao longo do trecho impactado dos rios Gualaxo do Norte, do Carmo e Doce, a montante do reservatório de Candonga (T06 a T11), identificando as respostas do sistema fluvial às perturbações causadas pelo rompimento da barragem de Fundão.

A área de estudo é a mesma já descrita em documentos anteriores (trechos T06 ao T11) na divisão indicada pelo Plano de Manejo de Rejeitos – PMR, com uma extensão total aproximada de 110 km. Ademais, fizeram parte do estudo trechos selecionados de rios da região utilizados para estimar a condição de referência para o rio Gualaxo do Norte. Assim, estão incluídos neste contexto trechos de vários municípios de Minas Gerais, como: Itabira, Nova Era, Santa Bárbara, Alvinópolis, Mariana, Barra Longa, Rio Doce, Lamim, Cipotânea, Senador Firmino, Alto Rio Doce e Canãa.

Como estudo final do processo desenhado no Plano de Trabalho inicial o Documento 10 considerou três diferentes cenários para a avaliação da evolução da presença dos já mencionados "habitats físicos":

1. **Cenário de referência:** condição representativa da situação de presença de habitats nos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce à montante; o Rio Gualaxo do Norte (T06 à T09): baseado em informações levantadas de rios da região com características similares ao Gualaxo do Norte durante a estação seca de 2021 (levantadas no âmbito do presente estudo) e seleção de imagens anteriores ao rompimento, ano de 2014, para o trecho T09; o Rio do Carmo e rio Doce a montante do reservatório de Candonga (T10 e T11): baseado em informações anteriores ao rompimento, ano de 2014;
2. **Cenário 2019:** situação da presença de habitats durante a estação seca de 2019 (imagens obtidas de outros estudos);
3. **Cenário 2021:** situação da presença de habitats durante a estação seca de 2021 (imagens levantadas no âmbito do presente estudo).

Face ao fato de aspectos metodológicos já terem sido apresentados anteriormente, bem como o contexto geral e o modo como foram conduzidos os estudos referentes aos dois primeiros cenários, aqui se irá concentrar nos resultados apresentados para o último cenário, nas comparações com os demais e nos resultados finais apresentados.

Dando continuidade, apresentam-se os resultados desse documento seguindo os mesmos critérios e variáveis abordados nos relatórios anteriores. Assim, a quantidade

de trechos fluviais utilizados foi definida com base em critérios estatísticos. Com isso se buscou, segundo o relatório, assegurar robustez estatística nas análises de comparação. A seleção foi realizada tomando como base a similaridade das mesmas características já mostradas como: área de drenagem, declividade, regime pluviométrico, uso e ocupação do solo da área de drenagem, tipo de solo, características geomorfológicas de confinamento.

De acordo com os resultados, resumidamente o documento afirma que:

[...]De 2019 para 2021 é observado aumento da presença percentual de corredeiras e de poços/remansos [...] nos três rios principais. Estes resultados corroboram a hipótese de que as características físicas dos rios estariam passando por mudanças devido aos processos de transporte de sedimentos (formados principalmente por processos de erosão seletiva do material fino do leito), e que estariam rumando a uma situação de maior diversidade de características físicas, incluindo a presença e diversidade de habitats.

De forma a corroborar a conclusão acima, o documento apresenta os dados (Figura 11) onde mostra a comparação entre os cenários de referência o de 2019 e o de 2021 quanto à presença percentual dos habitats físicos nos rios analisados.

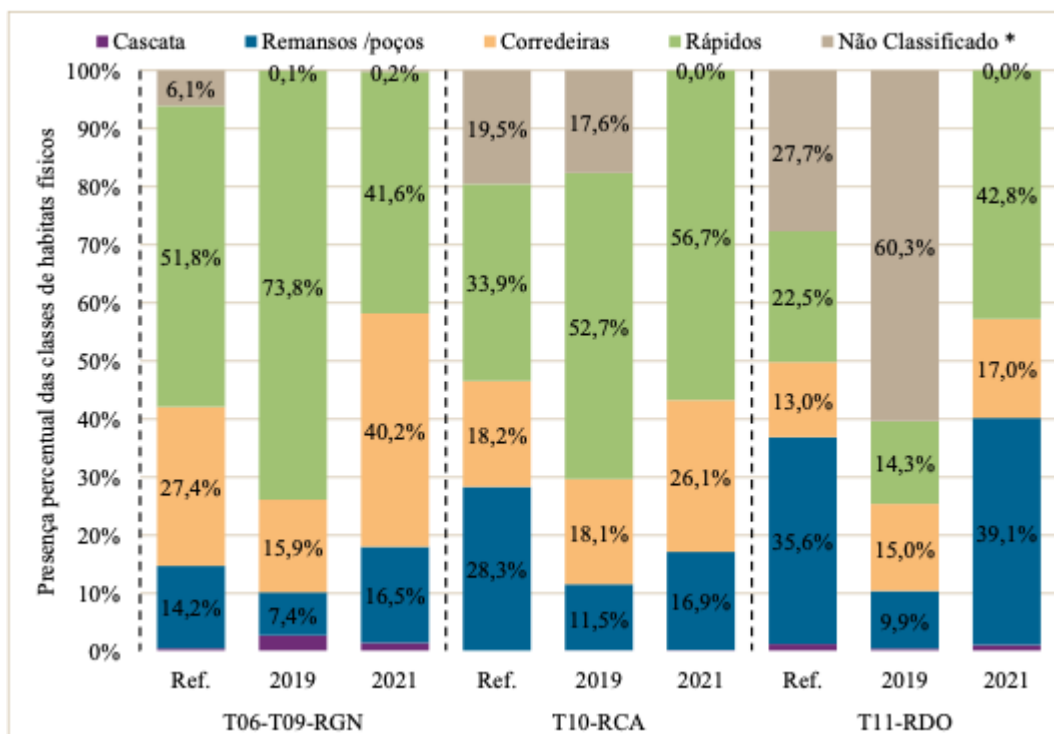


Figura 11. Comparativo entre os 3 cenários analisados pelo estudo da Empresa NHC.

Segundo o Documento 10, e com base na Figura 09, acima, uma certa similaridade encontrada entre os resultados do cenário de referência (2014) e o cenário de 2021 podem ser considerados como um indício de recuperação do sistema fluvial em estudo. Esta similaridade demonstrada por uma proximidade entre os percentuais de "Habitats



Físicos" identificados pelos estudos respectivamente relacionados aos dados de referência e ao levantamento realizado em 2021.

Apesar de esta parte do documento ser dedicada a uma exposição do que cada documento descreve não se pode furtar a uma análise quanto à afirmação da similaridade entre cenários.

Se considerarmos, por exemplo, o trecho T11-RDO, no tocante a remansos há uma diferença entre os dois cenários da ordem de 3,5% a mais em 2021. Em relação a corredeiras, a diferença é de 4% a mais em 2021. Agora, face aos 27,7% de área não classificada naquele trecho e se considerarmos que essa área corresponde a rápidos, haverá uma diferença da ordem de 7,4% a menos em 2021. Para o trecho T10-RCA, a diferença para remansos se inverte na relação temporal. Ou seja, -11,4% para o cenário 2021 em relação ao de referência é positiva e da ordem de quase 8% para corredeiras praticamente inexistindo para as corredeiras se considerarmos os trechos não classificados como parte desses últimos "habitats físicos".

Por fim, para os trechos T06 a T09, há uma variação de pouco mais de 2% e 12%, respectivamente, a mais para o último cenário, quanto a remansos e corredeiras. Uma diferença negativa para 2021 em relação ao cenário de referência para o item rápidos.

Portanto, face ao acima ilustrado, visualmente talvez os resultados podem dar uma impressão de recuperação, sim. Porém, levando-se em conta os números, friamente, e o fato de que para os trechos T06 a T09 a referência foi dependente da análise de outros rios o que indica certo grau de incerteza, seria mais aceitável guardar prudência. No entanto, se pode afirmar com certeza que o sistema está buscando um novo equilíbrio e que este apresenta certa semelhança com o cenário de referência.

Assim, e para buscar maiores elementos o documento coloca que:

A comparação direta do valor médio da referência com os valores do rio Gualaxo do Norte indicam, no geral, que em 2019 havia menor diversidade de habitats e em 2021 havia maior diversidade de habitats no rio afetado pelo rompimento do que nos rios da região. Estes resultados são observados tanto para o rio como um todo quanto ao se analisar os trechos do PMR individualmente. Por se tratar de uma comparação entre dois grupos amostrais distintos (rio Gualaxo do Norte e trechos de rios da também foram realizadas análises estatísticas (teste de poder a posteriori) para dar maior robustez as conclusões. De maneira simplista, a análise realizada estima a probabilidade de se estar certo ao afirmar que uma amostra é ou maior, ou menor ou igual a outra. As análises estatísticas realizadas corroboram os resultados da comparação direta quando se avalia o rio Gualaxo do Norte como um todo e o T09. Em relação a avaliação individual dos trechos T06, T07 e T08, os resultados das análises estatísticas indicam que, ainda que em média possuam maior diversidade de habitats que a referência, há uma probabilidade que não pode ser desprezada de que algum pequeno segmento apresente diversidade de habitats menor que a referência.

Já em relação ao material presente naquilo que o documento denominou como "camada ativa do leito", tem-se para 2019 pelo menos 25% do leito ocupado predominantemente por material fino escuro para todos os trechos do PMR do rio Gualaxo do Norte. Sendo que o T09 tinha quase metade de sua área com predominância desta classe. Ademais, no mesmo cenário, quase 70 % do rio Gualaxo do Norte era ocupado por material predominantemente fino. Apesar de em 2021 se ter tido uma maior presença de finos, esse material foi considerado como pertencente à classe "Areias ou material mais fino (claros)", o que foi intuitivo como sendo correspondente a sedimentos originados em sua maioria de áreas não impactadas da bacia. A figura 12 a seguir, mostra a participação da composição do material predominante na camada ativa do leito nos trechos do rio Gualaxo do Norte (cenário de referência, 2019, e 2021).

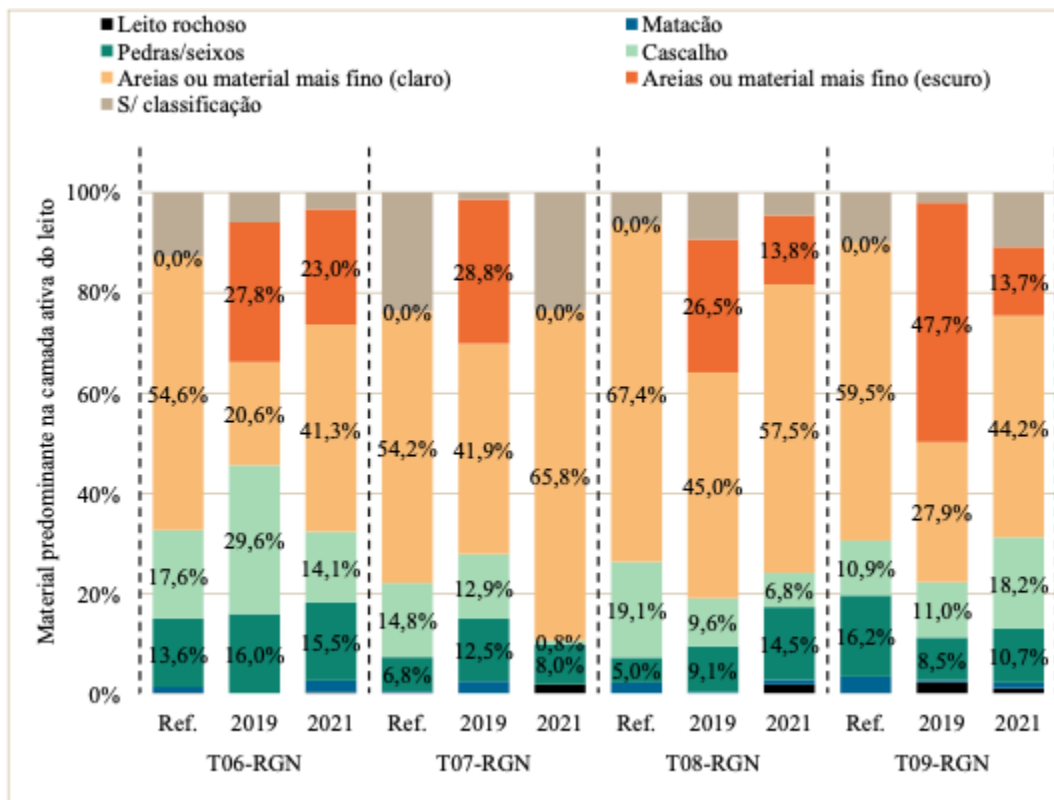


Figura 12. Visão dos 3 cenários para o tópico composição do material predominante na camada ativa do leito.

O resultado indicado pelo gráfico da figura acima mostra que numa comparação direta há uma diferença pequena entre a condição do rio Gualaxo do Norte em 2021 e a referência. No entanto, a análise estatística feita no Documento 10 indica grande confiança ao afirmar que o rio Gualaxo do Norte ainda possui menor quantidade de material grosseiro que a referência. Ademais, os resultados indicam tendência de maior presença de material grosseiro em trechos de maior declividade e uma diferença maior em relação a referência. Mostram também maior robustez estatística ao afirmar que a classe de menor declividade possui menor quantidade de grosseiros que a referência. O



mesmo é observado a nível de cada unidade de "habitat físico" e indica que a diferença do percentual de grosseiros observadas em corredeiras é menor do que a observada em rápidos e poços/remansos, quando se compara os resultados do Gualaxo do Norte com a referência.

Assim, os resultados apresentados sinalizam para uma condição onde a erosão do leito é o principal processo em curso na formação e alteração das características físicas dos corpos d'água em estudo. Portanto esses processos erosivos associados à variabilidade hidrológica podem dar sequência ao processo de recuperação dos sistemas fluviais que atualmente se apresentam na busca de nova condição de equilíbrio.

Em relação às condições de margem o documento destaca que observou-se a presença de obras de enrocamento e que foi identificada vegetação ciliar recomposta que já é capaz de fornecer uma certa quantidade de material lenhoso ao rio. No mais o documento ressalta que:

[...]os resultados do mapeamento de habitats nos rios de referência indicam a existência de vegetação densa e de grande porte junto as margens, capaz de obstruir a visualização de aproximadamente 6 % da área do leito dos trechos de rios avaliados. No rio Gualaxo do Norte esse valor era de 0,2 % em 2021, indicativo de que a vegetação ciliar no rio Gualaxo do Norte ainda possui menor porte que nos rios de referência.

Ademais, em todos os rios se observou aumento da erosão de margens entre 2019 e 2021. Este fato é associado como elemento para corroborar as alterações das estruturas de habitats. O documento assinala ainda que embora a erosão das margens e migração lateral dos rios seja vista como indesejável, em específico pelo aporte de material que contribuiria para um possível aumento da turbidez e por ser um processo natural, poderia significar, temporalmente, potenciais benefícios de inserção de material lenhoso e matéria orgânica no meio aquático.

Por fim, os resultados apresentados indicam mudanças nas características físicas dos rios afetados pelo rompimento da barragem de Fundão. Indicam também mudanças significativas entre os cenários de 2019 e 2021. Quanto ao rio Gualaxo do Norte, o documento assinala que apesar de o mesmo já ter alcançado uma condição de presença e diversidade de habitats físicos aparentemente similar ou superior aos rios da região não afetados pelo rompimento, a qualidade desses ainda não é equivalente à de rios não afetados pelo rompimento. É esperado que com o passar do tempo e continuidade dos processos físicos naturais do transporte de sedimentos, a presença de grosseiros no leito do rio Gualaxo do Norte aumente e alcance uma condição similar ou superior aos rios da região não afetados pelo rompimento.

5. Análise e posicionamento do especialista

5.1. Visão geral da área de estudo

Tomando-se resumidamente alguns aspectos gerais da área em questão, ou seja desde a porção imediatamente a jusante da vila de Bento Rodrigues até a Barragem da UHE Risoleta Neves, trata-se de uma área de serras escarpadas na parte de montante do rio Gualaxo do Norte (Bento Rodrigues e Paracatu) seguida por uma região com morros e colinas (de Paracatu até a confluência do rio do Carmo com o rio Doce). Altitudes variando entre 800m a 200m e uma declividade de 0,30%, havendo áreas onde o rio encontra-se encaixado em rocha, seguido por áreas onde é mais sinuoso (Figura 13). Do ponto de vista da geologia tem-se ali quartzitos, xistos e filitos nas porções mais elevadas indo até rochas ígneas e metamórficas, estas últimas de alto grau, nas mais baixas.

Como especificado acima, a área de estudo compreende trechos impactados nos rios Gualaxo do Norte, do Carmo e Rio Doce – a montante do reservatório de Candonga/Risoleta Neves, denominados nos documentos estudados como trechos sequenciais de T06 a T11 conforme divisão proposta pelo Plano de Manejo de Rejeitos – PMR. O setor estudado possui uma extensão total aproximada de 110 km. Adicionalmente foram incluídos no estudo pela empresa consultora NHC, responsável pelos estudos, alguns trechos selecionados de outros rios da região, utilizados para estimar a condição de referência para o rio Gualaxo do Norte notadamente no período anterior ao evento de rompimento da barragem do Fundão em 2015. Isso incluiu trechos nos municípios de Itabira, Nova Era, Santa Bárbara, Alvinópolis, Mariana, Barra Longa, Rio Doce, Lamim, Cipotânea, Senador Firmino, Alto Rio Doce e Canãa, no estado de Minas Gerais.

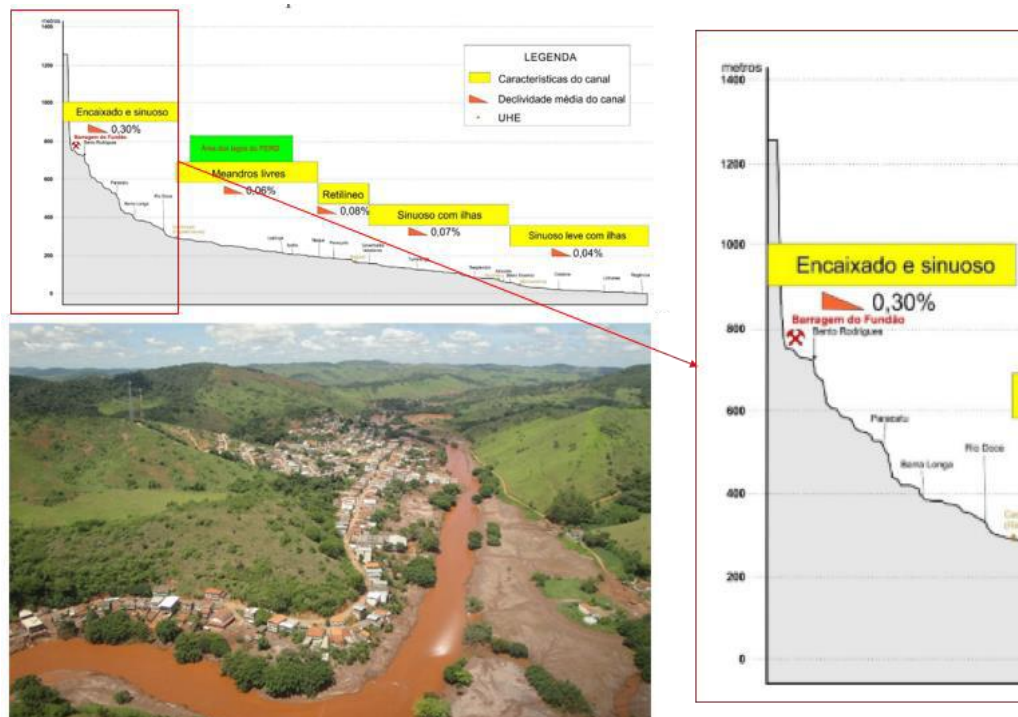


Figura 13. Declividade média do trecho em pauta (0,30%) face aos demais e foto parte baixa da vila de Barra Longa arrasada pela corrida de lama. Fonte: Saadi e Campos (2015).



6. Observações de campo

Face a uma abordagem metodológica distinta da que normalmente se aplica em estudos relacionados a fatos como os ocorridos na Barragem do Fundão, a equipe técnica da Empresa Terra Trópico, considerou realizar uma inspeção em campo. A visita foi realizada no período de 22 a 26 de junho com acompanhamento de pessoal da Fundação Renova, bem como de pessoal da empresa NHC. Foram visitados 30 pontos desde o trecho 6 até o trecho 11. Um relatório fotográfico dos pontos visitados pode ser visualizado [aqui](#)³.

No geral, as observações de campo permitiram identificar os processos geomorfológicos em ação nos dias atuais através da identificação de feições típicas de ambientes fluviais nas condições dadas em regiões como as ora em destaque. Permitiram também, validar os levantamentos topográficos realizados pela Empresa NHC, bem como validar as categorias de reformas utilizadas para classificação e identificar uma variedade de outras não utilizadas naquela classificação. Assim, foram verificados pontos de remanso, de corredeiras, rápidos, cascatas, barras (em distintos tipos), zonas de confluência, taludes, afloramentos rochosos, áreas de acumulação de sedimentos, registros de passagem do fluxo de lama quando do acidente dentre outros. Ademais, também foi possível identificar marcas do ocorrido em 2015, o que incluiu ainda setores cobertos por camadas de rejeito ainda que distribuídos de forma difusa (ver foto GPSe-230525-095820 clicando [aqui](#)⁴). Face ao que foi visto em campo os sistemas fluviais visitados aparentam estar em busca de novas condições de equilíbrio após cerca de 8 anos do evento de rompimento da barragem de Fundão.

7. Da análise documental realizada

Conforme ilustrado anteriormente no presente relatório foram analisados um conjunto de documentos como parte das atividades previstas no contrato entre a FACULDADE LATINO-AMERICANA DE CIÊNCIAS SOCIAIS (FLACSO), e a empresa TERRA TRÓPICO LTDA. Deste contexto fazem parte 10 documentos, cujos resumos de suas respectivas análises se encontram acima apresentados. A seguir são apresentados os comentários e o parecer dos especialistas da Empresa Terra Trópico Ltda. quanto a esses documentos construídos a partir do estudo dos mesmos, bem como a partir das observações obtidas da visita de campo realizada de 22 a 26 de junho do corrente ano.

Do ponto de vista conceitual o estudo da NHC baseou-se nas considerações de três cenários para a avaliação do que foi denominado nos documentos de "habitats físicos", sendo eles:

³ https://www.google.com/maps/d/u/0/edit?mid=1G9Cy9dq_W_t-Vlmzg0czkD9KsN2oXI4&usp=sharing

⁴ https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=1G9Cy9dq_W_t-Vlmzg0czkD9KsN2oXI4&ll=-20.260583832429198%2C-42.91692050682124&z=18



1. O Cenário de referência: condição representativa da situação de presença de habitats nos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce à montante; sendo:
 - a. o Rio Gualaxo do Norte (T06 à T09): baseado em informações levantadas de rios da região com características similares ao Gualaxo do Norte durante a estação seca de 2021;
 - b. seleção de imagens anteriores ao rompimento, ano de 2014, para o trecho T09;
 - c. para o Rio do Carmo e rio Doce a montante do reservatório de Candonga (T10 e T11): baseado em informações anteriores ao rompimento, ano de 2014;
2. O Cenário de 2019: situação da presença de habitats durante a estação seca de 2019;
3. O Cenário de 2021: situação da presença de habitats durante a estação seca de 2021.

Para a realização do estudo e da análise desses 3 cenários a Empresa NHC utilizou-se de estudos embasados em literatura densa e diversa indicada sucessivas e repetidas vezes nos documentos analisados. Para dar maior ênfase a isso, no tópico do presente relatório referente à análise da bibliografia, as referências básicas citadas pela NHC são apresentadas resumidamente de modo a facilitar o entendimento das questões conceituais utilizadas.

Em seguida se apresentam as premissas utilizadas para avaliar a recuperação do sistema fluvial e a qualidade dos levantamentos cartográficos realizados face a essas premissas. Na sequência e face ao apresentado pelos sucessivos relatórios realizados pela Empresa NHC para a Fundação RENOVA, faz-se uma análise quanto às imagens utilizadas e à cartografia realizada. Também se faz uma análise quanto à abordagem dada para a classificação dos rios, à definição e sustentação teórico-conceitual dos "Habitat físicos", bem como da metodologia utilizada para os levantamentos realizados pela Empresa NHC. Nesta análise são apresentados seus aspectos gerais e limitações, em especial sob a sistemática de categorização, bem como da terminologia utilizada. São também apresentadas sugestões para complementação dos estudos visando uma melhor compreensão e consistência dos mesmos, face ao contexto da área, de modo a que não se mostrem mais afeitos às variabilidades hidrogeomorfológicas da área de estudo em específico. Por fim, se apresentam recomendações mais direcionadas ao acima colocado e como conclusão faz-se uma avaliação da resposta/recuperação dos canais fluviais face ao enfoque dado pela Empresa NHC nos estudos produzidos para a Fundação RENOVA.

8. Da análise da metodologia utilizada nos estudos

8.1. As premissas da NHC para avaliar a recuperação do sistema

As premissas da análise para avaliar a recuperação do sistema fluvial utilizadas pela equipe da Empresa NHC, a partir de trechos retirados de seus relatórios, levaram em conta que:



[...]O leito dos rios impactados logo após o rompimento possuíam geometria simplificada com pouca ou nenhuma heterogeneidade hidráulica, formação que pode ser classificada como do tipo rápidos, qualquer identificação de habitats do tipo corredeiras e cascatas indica alguma recuperação dos processos geomorfológicos no rio.

[...]a definição de valores de referência de presença de corredeiras é uma métrica válida para a avaliação das condições dos rios do Carmo, Piranga e Doce a ser realizada em etapa futura (escopo do produto 6).

[...] em trechos com visibilidade limitada do leito, a qual dificulta a diferenciação entre as classes de habitats de rápidos da classe remansos/poços, não seja um fator limitante na avaliação da recuperação fluvial.

[...]Em se tratando da presença de habitats do tipo corredeira, observa-se que somente nos cinco primeiros quilômetros do trecho T10 a jusante da confluência do rio do Carmo com o rio Gualaxo do Norte (RK39 à RK43), essa classe possui presença por volta de 40% ou superiores (resultados avaliados a cada quilômetro). Na maioria do trecho a presença é inferior a 20%, com pequenos trechos apresentando maior presença, aparentemente associada a maior declividade local.

[...]Em relação a condição das margens não foram identificadas estruturas de proteção de margens e taludes, no entanto observa-se a presença de margens com leito rochoso em aproximadamente 8% do rio do Carmo e superior a 25% no rio Doce.

[...] no trecho do rio Doce (T11) as margens eram predominantemente compostas por arbustos e gramíneas, sendo vegetação de grande porte presente em menos de 10% deste trecho.

9. Análise geral

Face ao estudo tanto da literatura utilizada (Documento 3), quanto dos documentos da Tabela 1, consideramos que as premissas utilizadas, bem como a metodologia proposta e executada pela empresa NHC são interessantes no tocante à área de estudo, têm valor técnico e utilidade para serem aplicadas em rios de tipo “montanhosos” e em especial de leitos predominantemente rochosos.

Cabe destacar que pelo identificado na documentação estudada o foco do estudo conduzido pela NHC se concentraria no que foi denominado nos documentos por esta produzido como “canal ativo” ou “canal molhado”, sendo excluído do estudo o mapeamento, a classificação e a caracterização das relações hidrogeomorfológicas e “habitats físicos” em forma mais integral, ou seja, se excluiu o mapeamento e análise das interações entre o canal “sensu stricto” e a planície aluvial. Essa questão pode ter especial relevância em especial no T09 onde a planície fluvial passa a ter maior importância no contexto geomorfológico. Assim, essa decisão, impôs restrições espaciais no mapeamento desenvolvido pela NHC a qual definiu o canal ativo como: *[...]“a área ao longo do rio onde a combinação de velocidade da vazão, intensidade do transporte de sedimentos e duração da inundação impede o crescimento da vegetação – ou seja, inclui bancos de sedimentos, por exemplo, mas exclui margens a partir de onde há vegetação ou ilhas vegetadas, e parte do canal maior (ou leito maior) que*

inclui as áreas inundáveis somente em eventos de grandes vazões. Posteriormente delimitação das margens, o canal ativo foi subdividido em canal molhado (considerado no momento em que a foto aérea foi capturada), e em área seca do canal”.

A figura 14 exemplifica o acima referido.

Figura 4 - Exemplo de delimitação de canal molhado (transparência esverdeada) e área seca (hachura), os quais acoplados compõem o canal ativo, e classificação das condições de margens. Esse trecho está localizado no T09 RK-49, no município de Barra Larga. Nessa área é possível observar diversos bancos de sedimentos e também aflorações rochosas.

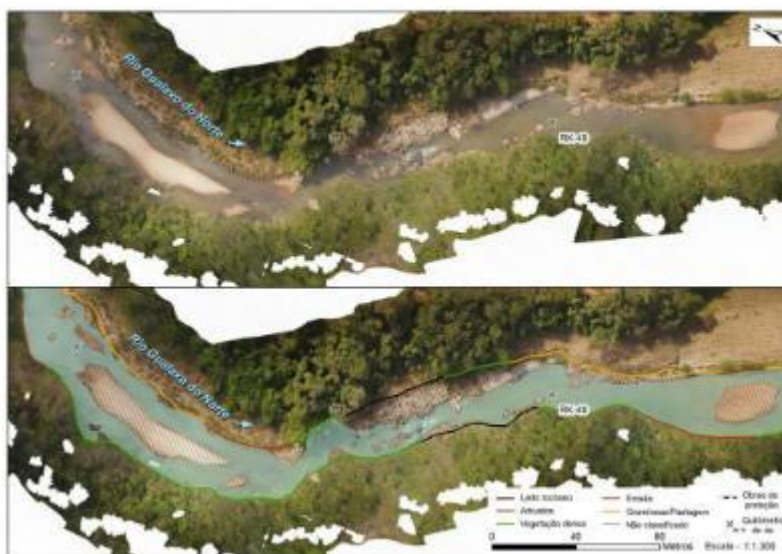


Figura 14. Exemplo de “canal ativo”, “molhado” e “seco” como definido pela NHC. Tomado do relatório 08-2022 (MAPEAMENTO DE HABITATS FÍSICOS NOS TRECHOS T06 À T11 E DEFINIÇÃO DA CONDIÇÃO DE REFERÊNCIA RELATÓRIO FINAL)

10. Avaliação do uso de imagens e realização da cartografia

A geração da cartografia temática se baseou no uso de imagens de satélite anteriores ao evento e imagens aéreas de alta resolução obtidas com uso de drones a baixa altitude nos anos de 2019 e 2021. Por meio da utilização das imagens disponíveis, a NHC elaborou uma cartografia específica com a finalidade de identificar o mapa de “habitats físicos” dos trechos T6 a T11. Adicionalmente, o estudo considerou “condições de referência” no sistema (caracterização correspondente à uma situação sem a perturbação causada pelo rompimento) para os trechos T06 a T11 com base em informações de 2014. Para análise e caracterização de “habitats físicos” foram selecionados 68 trechos de referência e se selecionaram 52 trechos com características similares ao Gualaxo do Norte e três trechos no Gualaxo do Norte antes do rompimento. Imagens para períodos anteriores ao evento com resoluções espaciais variando entre 0.5m e 1,5m foram disponibilizadas pela Fundação Renova. Imagens do Google de 2014 (CNES) foram também incorporadas no estudo. Dados topográficos utilizados consistiram de levantamento aerofotogramétrico do IBGE em escala 1:50000 e curvas de nível de 20m, imagens SRTM com resolução 90m e dados Lidar de alta resolução (1m) obtidos e processados depois do rompimento. As cartografias temáticas e outros



meta-derivados de interesse foram elaboradas com o uso de Sistema de Informações Geográficas (ArGIS 10.8.1).

Durante o trabalho de campo realizado pela equipe da Empresa Terra Trópico, acompanhada por técnicos da Fundação RENOVA e da NHC foram visitados e avaliados 30 pontos ao longo dos rios impactados durante o evento de 2015. Nesses pontos se fez um controle de campo da cartografia elaborada pela Empresa NHC baseadas nas categorias de habitats físicos por ela utilizadas: poço-remanso, corredeira, rápido e cascata. A qualidade da cartografia realizada para a identificação das geoformas mostrou-se bastante precisa, correspondendo bem com a realidade observada em campo. Portanto, é possível afirmar que a cartografia elaborada por aquela empresa na identificação das quatro categorias de geoformas apresenta qualidade robusta e suficiente. No entanto, é preciso assinalar que a cartografia realizada não contemplou de forma integral a diversidade de "habitats físicos" do "canal molhado", ou seja, a área apresenta outras categorias que não somente aquelas que foram utilizadas no estudo da empresa NHC.

11. Avaliação da classificação dos rios

Para fins da avaliação foram definidas três classes de escala dos rios conforme a área de drenagem (80-200 km², 200-400 km², e 400-660 km²) e três classes conforme a declividade (<0.002 m/m, 0.002- 0.004 m/m, e 0.004-0.010 m/m), as quais combinadas resultam em nove classes de análise. Essa metodologia se mostrou apropriada e justificada face à necessidade de uso de dados de áreas fora da baixa hidrográfica dos rios impactados.

12. Avaliação da classificação de "Habitats físicos"

Habitats físicos foram definidos no estudo da NHC como áreas contínuas que possuem características morfológicas (material predominante na camada ativa do leito e geometria do canal) e características hidráulicas (profundidade e velocidade do escoamento) distintas. A abordagem proposta para o entendimento das condições das características dessas feições hidrogeomorfológicas baseou-se no mapeamento de áreas características do rio utilizando imagens aéreas de alta resolução obtidas com drone em sobrevoo de baixa altitude. Esse procedimento, conforme já assinalado, se apresentou bastante robusto para as práticas de cartografia temática. No entanto, a caracterização dos "habitats físicos" não foi sustentada com a coleta e incorporação de observações e descrições de campo com a finalidade de melhor caracterizar cada categoria face ao contexto local. Ou seja, utilizou-se de conceitos retirados diretamente da bibliografia, sendo que alguns dos conceitos das variáveis mostram certa subjetividade, carecendo de uma melhor contextualização face às especificidades da área em apreço.

13. Limitações da metodologia utilizada



Uma vez que as áreas da planície de inundação (faixa aluvial) foram excluídas do estudo por imposições próprias do contrato-TR, resulta que uma série de componentes morfológicos do canal molhado também foram excluídos do estudo. Isso ocorre face à consideração do canal dito “molhado” como somente aquele que fica coberto pelas águas no período seco. Porém, há que se considerar que as quatro categorias de “habitats físicos” definidas pela Empresa NHC são corretas, apresentam boa correlação com a verdade de campo e racionalidade quanto à sua utilização como indicadores espaço-temporais na interpretação da recuperação do sistema, sendo, em nosso entendimento, válidas e conceitualmente sustentáveis. No entanto, ainda que se considere que o estudo seja interessante e apresenta boa aplicabilidade, o mesmo resulta insuficiente para a caracterização da diversidade de “habitats físicos” que os sistemas impactados possuem e o reducionismo pode ter gerado a perda de aspectos relevantes que podem contribuir significativamente para a boa avaliação desejada. Ademais, no nosso critério, o estudo apresenta alguns problemas conceituais em especial no que diz respeito à definição de “canal ativo” ou “canal molhado”, a saber:

12.1. Canal Ativo: A definição de canal ativo considerada pela Empresa NHC exclui diversos “habitats físicos” que na realidade são parte do canal ativo, o qual tradicionalmente se define como a área do canal na cota de margens plenas (bankfull) (LEOPOLD, 1994, BIEDENHARN et al., 2008, STEVAUX & LATRUBESSE 2017 entre muitos outros). Embora a definição precise de cota de margens plenas possa resultar problemática e idealmente requer calibração por controle de campo, ela é a metodologia padrão utilizada para definir a seção transversal de um canal ativo. Assim, ao apenas o período seco como o ideal para a coleta de dados e análise a Empresa NHC comete um equívoco. Durante o período seco a cota da água no canal se encontra bem abaixo da cota de margens plenas e, portanto, uma série de elementos do canal “ativo” ficaram excluídos da análise realizada. Por exemplo as ilhas fluviais e parte das barras fluviais que não foram cobertas de água no momento da captura das imagens durante o período seco, não são consideradas na análise. Na realidade, todas estas geoformas contidas dentro do canal ativo deveriam ser levadas em consideração tanto na classificação quanto na análise. A Empresa NHC corretamente tem identificado as margens laterais do canal (verdadeiro limite do “canal ativo”. com boa correlação com a cota de margens plenas) por meio do uso de informação de imagens de drones, com base na morfologia e constituição dos barrancos e sua vegetação, porém excluiu simultaneamente este limite ao se concentrar no canal mapeável durante a época seca e eliminar da análise as geoformas do canal contidas entre os limites laterais “externos” identificados no mapeamento. O canal ativo deve, na verdade, considerar o que se denomina tecnicamente como condições de margens plenas (*bankfull*) e não somente condições de “canal molhado” durante o período seco no momento em que a foto aérea foi capturada. Ou seja, o critério aplicado pela Empresa NHC não representa o verdadeiro “canal molhado” dos rios, mas apenas o canal molhado no período seco, útil para determinação de algumas variáveis, sem dúvida importantes, porém excluindo outras da mesma foram importantes para os objetivos do estudo.

14. Sobre as categorias definidas e utilizadas pela NHC

Como fora mencionado na documentação avaliada, a classificação proposta pela Empresa NHC se baseia na identificação de quatro ambientes hidrogeomorfológicos do canal: poços-remansos (pools), corredeiras (runs/glides), rápidos (riffles) e cascatas (cascates). Como consequência, uma série de habitats físicos (geofomas do canal) a cotas de margens plenas (bankfull) tais como ilhas, barras fluviais de distintos tipos, barras parcialmente vegetadas, canais fluviais abandonados que são inundadas inundam durante o período de cheias assim como áreas de remanso-empoçadas induzidas por afloramentos rochosos, dentre outras geofomas características de ambientes fluviais (há exemplos na bibliografia citada pela NHC, bem como em BIEDENHARN et al., 2008, STEVAUX & LATRUBESSE, 2017, entre outros), ficam excluídas do sistema classificatório de “habitats físicos” prejudicando a interpretação (Figuras 15 e 16).

Portanto, as consequências negativas da definição do "canal molhado" na forma como adotada nos estudos analisados, resultam na omissão cartográfica e analítica de uma variedade de geofomas que constituem parte do “canal ativo”. Isto cria a falsa impressão de que as quatro categorias de geofomas definidas no sistema classificatório proposto seriam suficientes para caracterizar a diversidade de "habitats físicos" que existem no sistema.

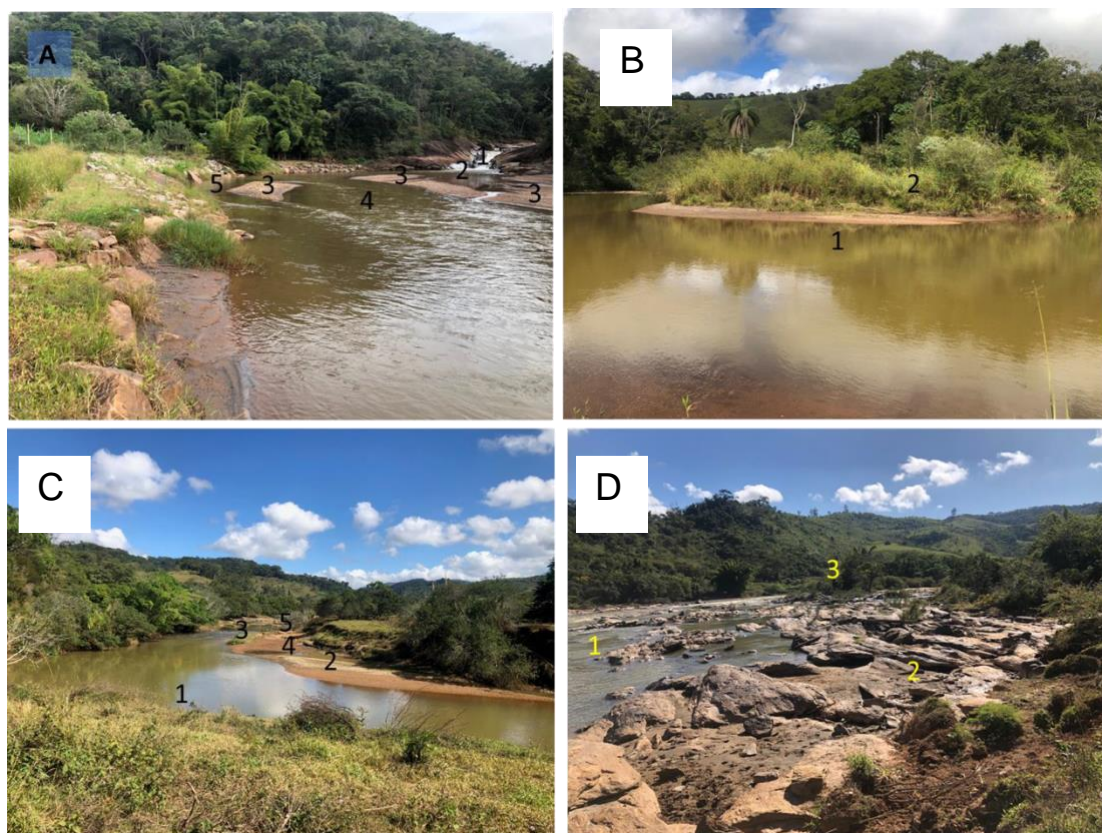


Figura 15: Exemplos de variedade de sub-ambientes ou geofomas (habitats físicos) em distintos trechos da zona de estudo que ficam contidas dentro do “canal molhado”. A) 1-cascata,

2-"pool"/poço; 3- barras fluviais, 4- canal aluvial (contendo talvegue), 5-braço secundário com baixa velocidade. Observa-se que a jusante da cascata e do "pool" o trecho é de tipo "braided" (*entrelaçado*) no contexto da classificação geomorfológica fluvial e apresenta subambientes associados a esse padrão de canal. B) Barra lateral tipo "point bar" e sucessão vegetacional ripária na barra. A unidade fica coberta durante o estágio hidrológico de margens plenas (*bankfull*). C) 1- Canal principal com fluxo subcrítico (escoamento fluvial ou lento, não turbulento) em trecho com tendência aluvial que não se enquadra dentro da categoria de rápidos ou corredeiras, 2- barra lateral, 3- "pool", 4-zona aluvial de baixa velocidade/sombra dada por obstáculo transversal rochoso ("chute" ou remanente) com comportamento de "chute" durante período de cheias e remanente ou ao estilo de "poças" durante período de águas baixas, 5- corredeira. D) Setor multicanal com ilhas rochosas e mistas (rochosas-aluviais). 1- Corredeira, 2- canal rochoso funcional durante cheias e de comportamento lântico ("poço") durante períodos de baixa vazão com obstrução parcial por sedimentos aluviais. 3- Ilha mista rochosa-aluvial com sucessão vegetacional aluvial.



Figura 16. Exemplos de variedade de sub-ambientes (habitats físicos) em distintos trechos da zona de estudo que ficam contidas dentro do "canal molhado". A) Zonas lânticas empoçadas durante período de águas baixas, em trechos de sedimentação aluvial induzidas por "zonas de sombra" em afloramentos rochosos. B) Canal em zona predominantemente aluvial, de comportamento subcrítico, que não se enquadra dentro das quatro categorias utilizadas no mapeamento da Empresa NHC. C) canal sinuoso em zona predominantemente aluvial de difícil enquadramento dentro daquelas quatro categorias utilizadas.

15. Sugestões para melhorar a caracterização das categorias definidas na metodologia utilizada

As quatro categorias de habitats físicos definidas pela NHC são baseadas em terminologias geomorfológicas. Os mapas de habitats são representações 2D das geoformas. Porém, além do produto cartográfico 2D, é necessário considerar que desde o ponto de vista classificatório, além da descrição/identificação da geoforma, a classificação proposta pela NHC inclui aspectos relacionados a morfologia tridimensional do canal (morfologia do leito, profundidade), atributos litológicos-sedimentológicos do leito (“material”) e aspectos relacionados a morfodinâmica do sistema (velocidade). Portanto, consideramos que da forma como a metodologia classificatória foi explicitada nos relatórios, a definição das quatro categorias encontra-se sub-caracterizada devido a que os atributos são descritos em forma demasiadamente genérica e qualitativa (Vide Figura 17). Por exemplo, em relação a morfologia do leito e profundidade, não se apresenta nenhum tipo de relação dimensional e adimensional sobre os elementos descritos no item “Forma topográfica”.

Habitats físicos

- Classificação de Habitats físicos adotada para este estudo

Classe	Forma Topográfica	Velocidade do fluxo em condições de baixa vazão	Profundidade Relativa	Material do Leito
Poço ou remanso (pools)	Leito côncavo, ponto mais profundo substancialmente abaixo do leito, em algum ponto a jusante	Lenta	Profunda	Variável
Rápido(s) (runs/glides)	Leito plano com gradiente moderado abaixo. Superfície da água levemente inclinada.	Moderado a lento	Moderado	Variável
Corredeira (riffles)	Leito plano, frequentemente pontos altos locais ao longo do perfil talvegue	Rápido, turbulento	Raso	Variável
Cascata (cascades)	Leito com inclinação íngreme.	Muito rápido (supercrítico)	Raso	Leito rochoso - matacão

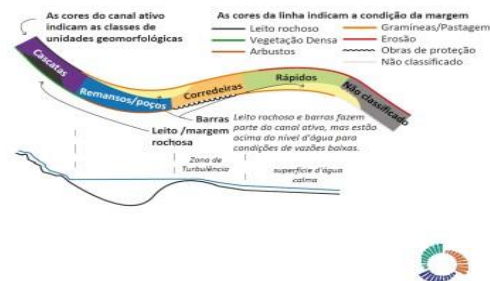


Figura 17: Modo de classificação dos "Habitats Físicos" utilizado na abordagem adotada pela Empresa NHC adaptado da literatura (BISSON et al., 2017, MONTGOMERY, D. R., & BUFFINGTON, 2007, 2008).

Fica indefinido que significância teriam os termos “substancialmente abaixo do leito” ou “superfície levemente inclinada” ou ainda, o que significam “pontos altos locais ao longo do talvegue”. Considerando que não se apresenta nenhum dado batimétrico, tampouco resulta indicativo para futuros estudos quais seriam os parâmetros para definir nos três sistemas fluviais estudados as categorias a serem consideradas como profundidade relativa “profunda, moderada ou rasa”.

Como a NHC conta com dados de gradiente característico de cada categoria; poderia ter sido realizada uma categorização segundo o gradiente para cada tipo de geoforma e assim comparar essas categorias nos distintos trechos e sua variabilidade (ou não) entre os três sistemas.



Em relação à profundidade, entendemos que a falta de dados batimétricos do sistema é um limitador importante, e que esse tipo de informação fica além do objetivo do estudo. Porém, poderiam ter sido geradas informações básicas (geral-3D do canal) em alguns segmentos com o levantamento e estimativas de relações largura/profundidade e caracterização da morfologia do leito conforme indica a literatura, incluindo a citada pela empresa (BIEDENHARN ET AL., 2008, LEOPOLD, 1994, STEVAUX & LATRUBESSE, 2017, dentre outros).

A outra variável dinâmica utilizada pela Empresa NHC na sua classificação é a “velocidade”. Porém, sendo que foram utilizadas as mesmas geoformas e a que a variação de velocidade foi caracterizada dentro do conceito de "continuum fluvial" ao longo dos três rios; a categorização da velocidade como utilizada no estudo (lenta, moderado lento, rápido turbulento e muito rápido/supercrítico) se mostra deficiente e consideravelmente qualitativa/subjetiva. Nenhuma medição de velocidades foi efetuada para definir, ao menos de forma ampla, as categorias que sustentam as categorias utilizadas na classificação. O controle de campo, a interpretação hidrogeomorfológica das imagens e cartografias produzidas pelo projeto permitiram avaliar que nossas observações estão corretas e coerentes com o que recomenda a bibliografia técnica. Um relatório fotográfico produzido pode ser utilizado para justificar as afirmações acima listadas.

Finalmente, consideramos que o fator “material do leito” está sub-estudado e subutilizado. Entendemos que em um estudo de tipo expedito não permite caracterizar em forma detalhada o sedimento de fundo do canal em toda a sua extensão nos trechos estudados, nem tampouco as características dos trechos com diferentes graus de concentração de materiais em suspensão. Ressalte-se também a ausência de amostragem, análises granulométricas, descrições específicas do material categorizando utilizando a nomenclatura sedimentológica reconhecida na literatura como por exemplo a escala granulométrica de Udden-Wentworth, tradicionalmente utilizada em estudos sedimentológicos internacionalmente e sedimentométricos no Brasil (BLAIR & MCPHERSON, 1999, CARVALHO ET AL., 2000). As descrições se mostraram frágeis utilizando-se de termos incorretos que não fazem parte do léxico sedimentológico como por exemplo: “pedra de mão”.

Sendo um objetivo prioritário identificar a resposta espaço-temporal de recuperação dos trechos, e que o material de rejeito depositado pelo evento catastrófico de 2015 é de granulometria predominantemente fina, teria sido relevante avaliar pelo menos em forma rápida os setores onde se produziu maior erosão e resuspensão de materiais finos nos distintos segmentos. O que poderia ser realizado através de um balanço sedimentométrico ou morfológico-sedimentar ao longo dos trechos estudados (FILIZOLA & GUYOT, 2009, LATRUBESSE ET AL., 2009, REID & DUNNE 1996, dentre outros), ou ainda, de forma mais expedita e semiquantitativa, utilizando amostragem pontuais de sedimentos em suspensão durante o período de águas altas em distintos setores ao longo dos três rios, ou também por imageamento de drone ou uso de imagens satelitais de alta resolução durante o período de águas altas fazendo uso de



técnicas radiométricas que foram aplicadas com sucesso em rios do Brasil (FASSONI ET AL. 2021, PARK E LATRUBESSE, 2015, 2019, MARINHO ET AL., 2020), por exemplo.

Focalizando a análise na forma que a Empresa NHC classifica e avalia "habitats físicos", a mesma parece sugerir aos tomadores de decisão, que somente quatro geoformas são as que caracterizam a diversidade de habitats físicos nos três sistemas (Gualaxo do Norte, Carmo e Doce) e que o tratamento estatístico ali utilizado para estas geoformas é o suficiente para definir a diversidade de habitats físicos e também para avaliar a recuperação de cada rio/trecho. No entanto, nossas observações tanto dos relatórios quanto em campo, indicam que embora as quatro geoformas utilizadas pela Empresa NHC se repitam em todos os trechos dos rios estudados, cada um dos sistemas fluviais possui uma variedade de geoformas e, portanto, uma diversidade de "habitats físicos", e estes imprimem um estilo particular que os diferencia entre si.

Assim, a medida que se produz a hierarquização do sistema, e em função das condições morfoestruturais que condicionam as bacias em apreço, e em particular na escala de estudo, se observam condições específicas. A partir disso, a morfologia dos vales fluviais apresenta um aumento de alternâncias de trechos intercalados mistos aluvio-rochosos, com diferenças nos tipos de barras fluviais, tramos curtos com tendência ao entrelaçamento (braided), mudanças no padrão de canal com tendências para estilo "anabranching" com presença de canais secundários e ilhas (NANSON, 2013, STEVAUX E LATRUBESSE, 2007), áreas de remansos de baixa circulação como resposta à presença de afloramentos rochosos e outras geoformas em canais de rios montanhosos (geoformas descritas na literatura citada pela NHC), e ilhas e outras morfologias em trechos com canais mistos aluvio-rochosos (MESHKOVA, L.V., & CARLING P.A. 2013). Ou seja, se identificam ao longo do percurso estudado uma série de habitats físicos que formam parte do "canal molhado" que não foram incluídos no estudo.

16. Recomendações específicas

Considerando a validade e utilidade do estudo realizado pela Empresa NHC e feitas as ressalvas acima listadas recomenda-se em relação aos tópicos abaixo apresentados o seguinte:

16.1. A respeito do Canal Molhado e das Geoformas

Incluir todas as geoformas que se encontram dentro do "canal molhado" delimitado através da identificação e distribuição dos "barrancos" externos que contém o sistema do canal. Dessa forma, todas as geoformas internas do canal molhado tais como barras, ilhas, áreas de baixa velocidade, braços secundários ativos e em distintos estágios de atividade ou abandono, áreas empoçadas e ou de baixa velocidade durante os períodos de águas baixas e médias relacionadas a obstáculos rochosos e braços secundários (áreas de ressaca) entre outras, serão corretamente incluídas.



Sugere-se também, incorporar uma variável 3D indicadora do canal molhado para os segmentos identificados. Esta variável poderia ser a relação largura/profundidade (L/P ou W/D em inglês) do canal, pelo menos em alguns setores característicos. Este parâmetro adimensional é muito útil para entender as características e condições dinâmicas do canal molhado e considera de forma inclusiva o conceito de “profundidade relativa” utilizada pela Empresa NHC.

16.2. A respeito da Classificação apresentada pela NHC

Tipicamente, quando se apresenta uma classificação com diversas categorias, utilizam-se dados mais quantitativos ou semiquantitativos que sustentem a identificação qualitativa das classes. Em geociências, uma estratégia comumente utilizada é a definição de “localidade tipo”. No caso de geoformas, uma descrição com estudos mais detalhados de algumas áreas selecionadas para que possam ser utilizadas como “tipo” ou referência para as classes se faz necessário.

Do modo como acima indicado será possível descrever as variáveis que caracterizam a classe proposta de modo mais apropriado e referenciado ao contexto da área de estudo, aplicando a metodologia listada nas referências de modo mais afeito à realidade local, a qual inclui também alguns trechos de planícies fluviais além de trechos "montanhosos".

Assim, e uma vez que a classificação se baseia em variáveis morfométricas (profundidade, declividade) e variáveis dinâmicas (velocidade) se recomenda o seguinte:

- a) Identificar uma **seção tipo** em cada sistema fluvial e para cada categoria de geoformas identificadas, como mínimo para qualificar e quantificar as variáveis relacionadas às quatro categorias usadas pela Empresa NHC (poços, rápidos, corredeiras, cascatas) -12 seções tipo em total.
- b) Em cada seção tipo, caracterizar a geoforma com dados específicos dos parâmetros postulados (declividade, profundidade, relação w/d e seção transversal batimétrica simplificada com **valores médios de velocidade da corrente** nos períodos seco e úmido). Sendo os sistemas fluviais em pauta de baixa profundidade, é também recomendável uma cartografia expedita da **seção tipo** integrando as imagens de drone com uma batimetria simples em cada unidade ou **localidade tipo**.
- c) Apresentar a classificação das geoformas com as categorias de valores nos descritores usados pela Empresa NHC no seu sistema classificatório: velocidade, declividade, profundidade e anexar um croqui de detalhe para cada **localidade tipo**.
- d) Caracterizar e descrever em forma mais precisa, as características litológicas/sedimentológicas do leito em cada **localidade tipo** descrita. Apresentar os resultados no mapa de detalhe mencionado no item c) acima, gráficos e/ou tabelas com as características sedimentológicas do material do leito.
- e) Em função da presença e distribuição de outras geoformas não contempladas pela Empresa NHC no "canal molhado", apresentar dados adicionais com o tratamento



estatístico da distribuição destas geoformas, complementando deste modo os dados estatísticos que já foram apresentados para as quatro categorias inicialmente utilizadas (poços, rápidos, corredeiras e cascatas).

f) Definir, considerando a presença da totalidade das geoformas do "canal molhado", apresentar ***resultados mais holístico*** de "habitats físicos" ao longo do "***continuum fluvial***", identificando os trechos de maior diversidade/complexidade.

17. Avaliação da resposta/recuperação dos canais fluviais atingidos pelo evento de 2015

Consideramos que o enfoque e a lógica da análise utilizada pela Empresa NHC em seus estudos se concentra nas quatro geoformas (poços, corredeiras, rápidos e cascatas) para avaliar se a recuperação do sistema **é coerente e válida**. As quatro geoformas utilizadas possuem boa sensibilidade para refletir as condições de recuperação do canal. Portanto, consideramos que o estudo já apresentado, através dos vários documentos analisados, sobre essas variáveis é válido e de utilidade. No entanto, sugere-se que de forma adicional, se incorpore na discussão dados complementares sobre a diversidade de todo o canal molhado que complementariam a fundamentação teórica já utilizada e os resultados já apresentados. Acreditamos que essa informação pode ser incorporada na discussão sem a necessidade de que sejam modificados os resultados estatísticos já apresentados.

Os resultados apresentados indicam mudanças nas características físicas dos rios afetados pelo rompimento da barragem de Fundão. Indicam mudanças significativas entre os cenários de 2019 e 2021. O rio Gualaxo do Norte especificamente, apesar de o estudo indicar que já tenha alcançado uma condição de diversidade de "habitats físicos" aparentemente similar aos rios da região não afetados pelo rompimento, o estudo apresenta questões conceituais e interpretativas que poderiam ser melhor apresentadas fazendo uso das recomendações assinaladas neste parecer e com isso fortalecer suas conclusões. Os sistemas fluviais em apreço seguem, ainda, em busca de uma nova condição de equilíbrio após 8 anos do evento de rompimento da barragem de Fundão.

18. Encaminhamentos

Acreditamos que a incorporação, pelo menos em forma semiquantitativa, da variabilidade e diversidade espaço-temporal de habitats no canal molhado adicionando os conceitos e geoformas recomendados neste parecer, irão enriquecer e complementar os resultados, adequando-os às questões técnicas e ao léxico das áreas avaliadas para melhor qualificar o entendimento e o próprio estudo quanto à recuperação do canal dentro de uma visão integradora (holística).

A complementação sugerida não implica que o enfoque e os resultados apresentados com foco nas quatro geoformas estejam errados, mas que carecem de ajustes técnicos que os adequem ao contexto da área de estudo de modo a valorizar sua qualidade e de modo a dar uma sensibilização quantitativa.



19. Referências Bibliográficas utilizadas no parecer

BIEDENHARN, D.S., WATSON, C.C. & THORNE, C. R. Fundamentals of fluvial Geomorphology. In: GARCIA, M. (Ed.). Sedimentation Engineering. Processes, Managements, Modeling and Practice. ASCE & EWRI, 355-383, 2008.

BISSON, P. A., MONTGOMERY, D. R., AND BUFFINGTON, J. M. Valley segments, stream reaches, and channel units. Methods in Stream Ecology, Volume 1 (pp. 21–47). Elsevier. 2017.

BLAIR TC, MCPHERSON JG. Grain-size and textural classification of coarse sedimentary particles. Journal of Sedimentary Research, 1;69(1):6-19, 1999

CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JÚNIOR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. Guia de práticas sedimentométricas. Brasília: ANEEL. 154pp., 2000.

FASSONI-ANDRADE, A. C., FLEISCHMANN, A. S., PAPA, F., PAIVA, R. C. D. D., WONGCHUIG, S., MELACK, J. M., ET AL. Amazon hydrology from space: Scientific advances and future challenges. Reviews of Geophysics, 59, e2020RG000728. 2021

FILIZOLA, N. & GUYOT, J.L. Suspended sediment yields in the Amazon basin: An assessment using the Brazilian national data set. Hydrological Processes, 23(22), 3207–3215. 2009.

GARCIA, M. (Ed.). Sedimentation Engineering. Processes, Managements, Modeling and Practice. ASCE & EWRI. 1132pp., 2008

LATRUBESSE, E.M, AMSLER, M.L., de MORAIS, R.P., AQUINO, S. The geomorphologic response of a large pristine alluvial river to tremendous deforestation in the South American tropics: The case of the Araguaia River. Geomorphology, 113(3-4):239-52, 2009.

LEOPOLD, L. A view of the river. First Harvard University Press 298 pp., 2005.

MARINHO, R.R.; FILIZOLA JUNIOR, N.P.; CREMON, É.H. Analysis of Suspended Sediment in the Anavilhanas Archipelago, Rio Negro, Amazon Basin. Water 12, 1073, 2020.

MESHKOVA, L.V., & CARLING P. A. Discrimination of alluvial and mixed bedrock–alluvial multichannel river networks. Earth Surface Processes and Landforms, 15;38(11):1299-316, 2013



terratropico1@gmail.com
+55 (62) 98170-2634

MONTGOMERY, D. R., & BUFFINGTON, J. M. Channel processes, classification, and response. *River ecology and management*, 112, 1250–1263. 1998.

MONTGOMERY, D. R., & BUFFINGTON, J. M. Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Geological Society of America Bulletin*, 109(5), 596–611.1997.

NANSON, G. Anabranching and anastomosing rivers. In: Wohl, E. (ed). *Treatise of Geomorphology, Fluvial Geomorphology*, Vol. 9 pp.330-345, Elsevier, London, 2013

PARK E, & LATRUBESSE EM. A geomorphological assessment of wash-load sediment fluxes and floodplain sediment sinks along the lower Amazon River. *Geology*. 2019 May 1;47(5):403-6.

PARK, E. & LATRUBESSE, E. M. Surface water types and sediment distribution patterns at the confluence of mega rivers: The Solimões-Amazon and Negro Rivers junction. *Water Resources Research* , V. 51 , P. 6197-6213 , 2015

SAADI, A. & CAMPOS, J.C.F. Geomorfologia do caminho da lama: contexto e consequências da ruptura da Barragem do Fundão (novembro 2015, Mariana–MG). *Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico* v. 24, n. 1/2, 2015.

STEVAUX, J.C. & LATRUBESSE, E.M. *Geomorfologia Fluvial*. Oficina de Textos. 320 pp., 2017

EQUIPE RESPONSÁVEL PELA ELABORAÇÃO DESTE PARECER TÉCNICO

- **Samia Aquino da Silva**
– CREA 22188/DAC
- **Edgardo M. Latrubesse**
- **Naziano Filizola Jr**
- **José. C. Stevaux**