Palestra para o CERH/SEMA

projeto CNPq - Universal

EMISSõES DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM RESERVATÓRIOS DE HIDRELÉTRICAS EM SÉRIE DO RIO ARAGUARI - AP

Processo: 405361/2025-4 CNPq - Universal

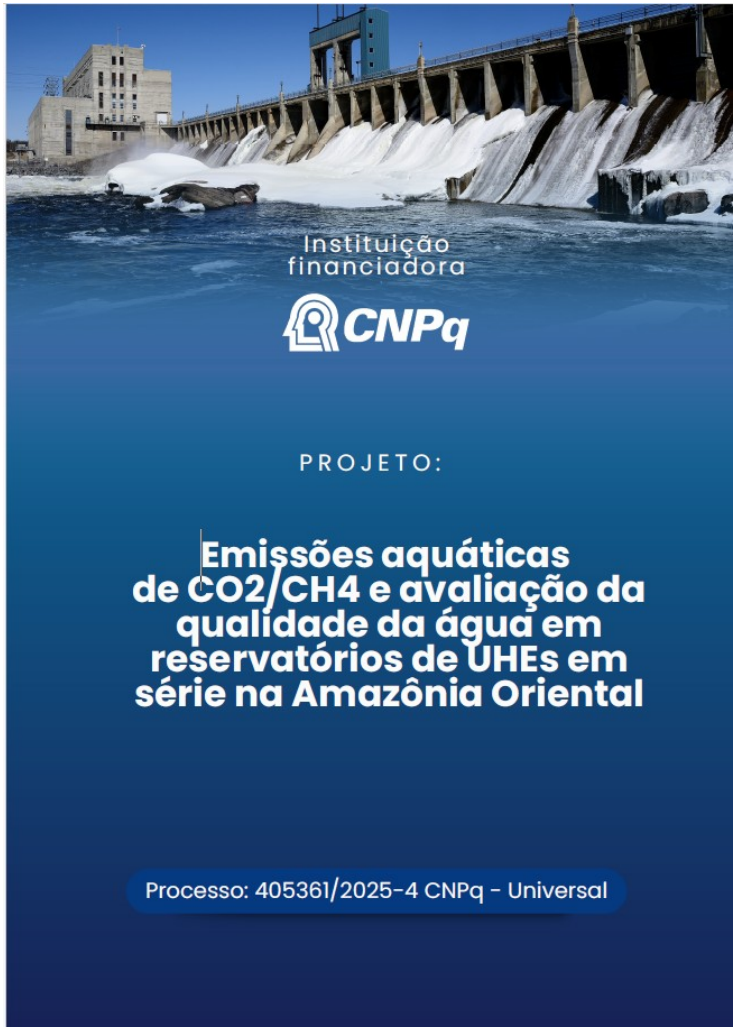
APRESENTAÇÃO - CERH/AP

PROJETO EMISSÕES DE GEEs EM RESERVATÓRIOS DE UHEs EM SÉRIE NO RIO ARAGUARI

Dr. ALAN CAVALCANTI DA CUNHA

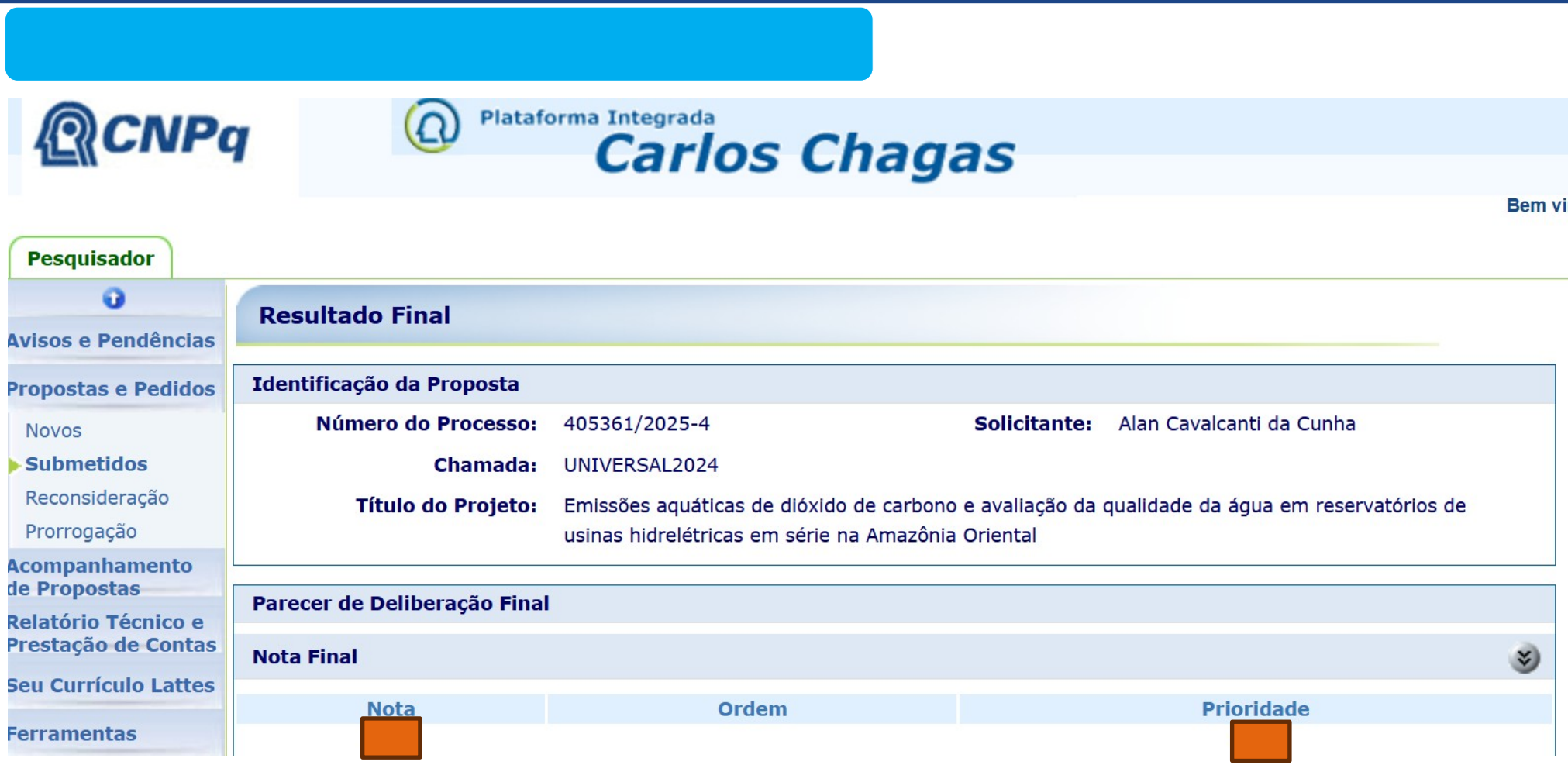
Macapá/11/Junho/2026

Palestra para o CERH/SEMA



UNIFAP UEAP UFPA UFAMA University of Oregan UFOPA Secretaria do Meio Ambiente UFPA Governo do Estado do Amapá CNPq

INTRODUÇÃO – EDITAL CNPq/MCTI No 44/2024/FAIXA B – GRUPOS CONSOLIDADOS



UNIFAP UEAP UFPA UFAMA University of Oregan UFOPA Secretaria do Meio Ambiente UFPA Governo do Estado do Amapá

INTRODUÇÃO–PROJETO APROVADO CNPq/MCTI No 44/2024/FAIXA B – GRUPOS CONSOLIDADOS

Resultado da Avaliação

Favorável — A proposta atende aos requisitos mínimos da Chamada CNPq/MCTI Nº 44/2024 - Faixa B - Grupos Consolidados.

Justificativa:

Proposta aprovada considerando a classificação atribuída pelo Comitê Assessor e os recursos disponíveis na Chamada.

Recursos

Capital	Custeio	Bolsa	Valor Total
R$160,000.00	R$50,000.00	R$0.00	R$210,000.00

Data de Emissão

Data de Emissão do Parecer: 29/08/2025

Recurso Liberado até o momento: R$ 45.000,00 (10 de Junho de 2026).

1ª Campanha – Planejamento
R$ 5.500,00 (05/02/2026) e 27-29/04/2026

Enquadrado

Justificativa:

A proposta se enquadra aos critérios estabelecidos na Chamada CNPq/MCTI Nº 44/2024.

Data de Emissão

Data de Emissão do Parecer: 16/07/2025

UNIFAP UEAP UFPA UFAMA University of Oregan UFOPA Secretaria do Meio Ambiente UFPA Governo do Estado do Amapá

INTRODUÇÃO

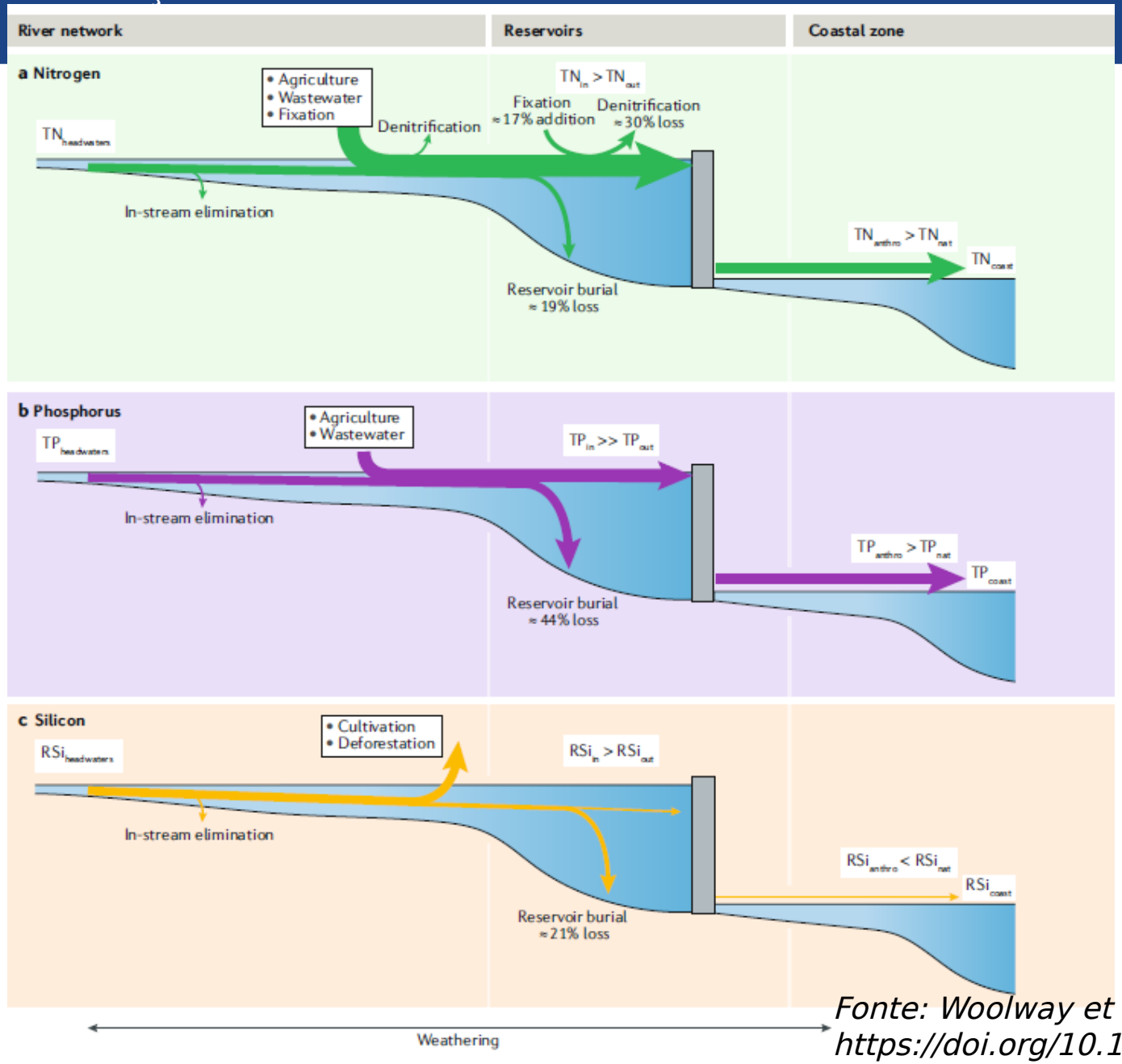


Table 1 | Areal CO_2 and CH_4 emissions from reservoirs

Dam region	CO_2 emissions ($\times 10^4$ µg C m^{-2} day^{-1})	CH_4 emissions ($\times 10^4$ µg C m^{-2} day^{-1})	Refs
Any purpose			
Global	33.0	4.71 (1.20–8.22)	21,194
Temperate	34.8 (31.3–38.2)	1.38 (1.17–1.50)	106,117,194
Tropical	92.6 (89.0–95.5)	16.0 (9.44–22.5)	106,117
Boreal	72.4	8.20	24,106
China	53.2	1.02	195
Hydroelectric			
Global	38.7	2.41	2
Amazonian	110	13.7	2
Non-Amazonian tropical	68.5	4.11	2
Temperate	10.6	0.22	2
Boreal	20.5	0.69	2

If multiple estimates are available, the mean value across studies is given, with the range of estimates recorded in the literature given in brackets.

Fonte: Maavara et al., 2020. Nature Reviews | Earth & Environment. 03 Feb 2020.

Fonte: Woolway et al., 2020. Nature Reviews | Earth & Environment. https://doi.org/10.1038/

INTRODUÇÃO

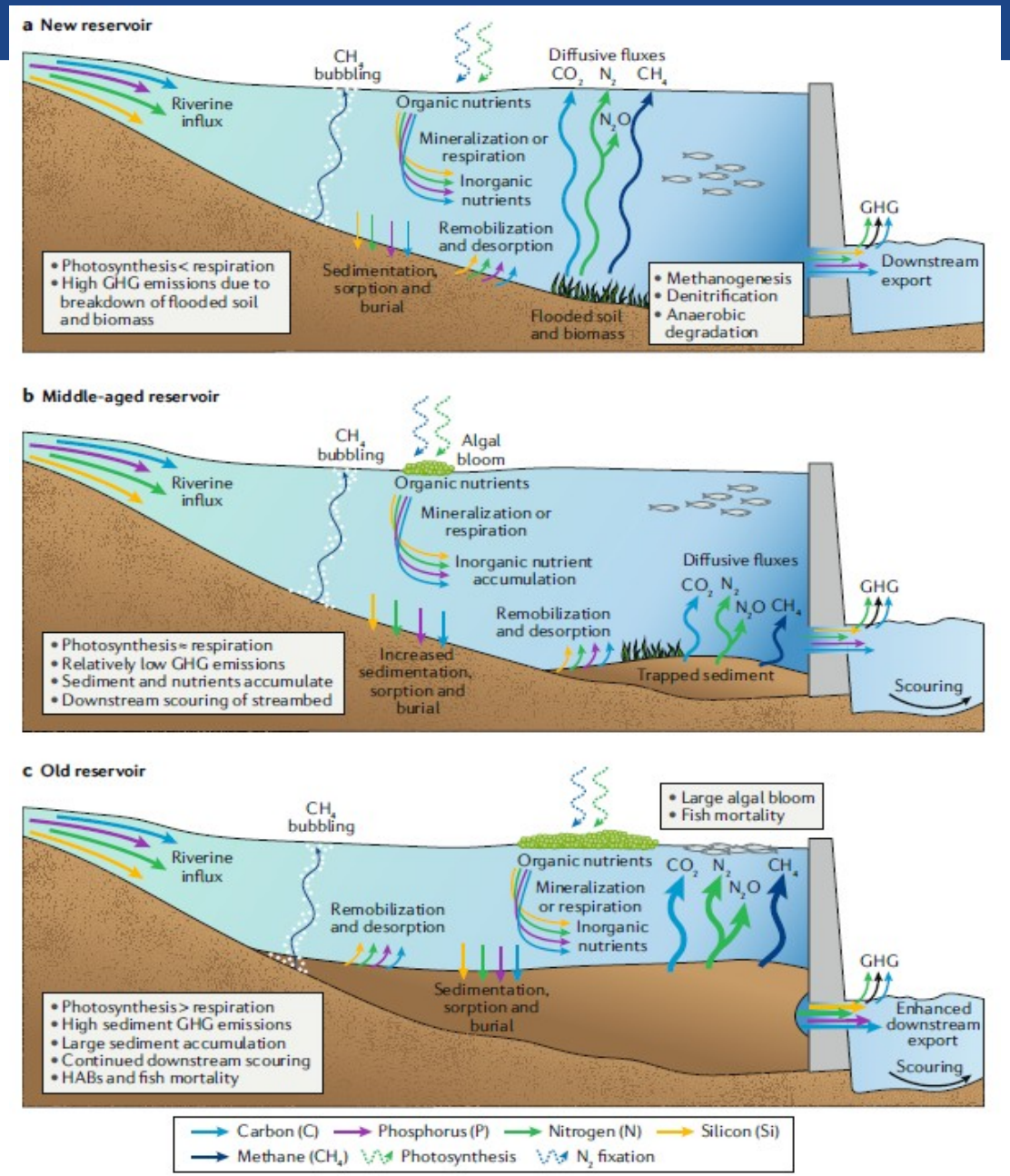


Fig. 3 | Principais processos de nutrientes ao longo do ciclo de vida de um reservatório.

Dinâmica simplificada do C (azul, com metano indicado por setas em azul-escuro), N (verde), P (roxo) e Si (amarelo) em reservatórios jovens (**painel a**), de meia-idade (**painel b**) e antigos (**painel c**).

Reservatórios jovens são tipicamente caracterizados por grandes emissões de gases de efeito estufa (GEE) devido à decomposição do solo e da biomassa inundados, e tendem a ser dominados pela respiração em vez da fotossíntese.

À medida que o reservatório envelhece, os nutrientes se acumulam, impulsionando o aumento da fotossíntese e da autotrofia, o que pode evoluir para florações de algas em reservatórios de meia-idade. As emissões de GEE diminuem à medida que a biomassa inundada é eliminada.

O sedimento se acumula no reservatório ao longo do tempo, o que pode promover a erosão do leito fluvial a jusante devido à subsaturação de sedimentos em suspensão na água do rio.

Em reservatórios antigos, a acumulação de sedimentos pode se tornar severa, funcionando como uma fonte pontual de remobilização de nutrientes para jusante, e a saturação de nutrientes pode impulsionar grandes florações de algas potencialmente nocivas (HABs), causando mortalidade de peixes e anoxia."

Fonte: Maavara et al., 2020. Nature Reviews | Earth & Environment. 03 Feb 2020.

INTRODUÇÃO

A recém-expansão hidrelétrica em regiões tropicais tem sido amplamente baseada em usinas de fio d'água (UHE-FD), consideradas de menor impacto ambiental por apresentarem reservatórios e emissões de gases de efeito estufa (GEE) menores. Todavia, GEEs registrados na Amazônia podem ser até três vezes maiores do que os fluxos anteriores ao represamento (cerca de **15 a 55 kgCO2eq MWh/km2/ano**).

As estimativas por **área em reservatórios amazônicos** são significativamente maiores que as médias globais, sendo urgente reduzir áreas inundadas, a densidade de potência e consequentemente suas pegadas de carbono.

As UHEs Coaracy Nunes, Ferreira Gomes e Cachoeira Caldeirão foram construídas em diferentes contextos no Médio Rio Araguari/AP, as quais detêm cerca de **549 MW de capacidade instalada**. Porém, suas emissões são provavelmente desconhecidas.

Fontes: Bertassoli Jr., et al., (2021); Cunha et al., (2013, 2014); de Araújo et al., (2024); Dos Santos et al, (2018); De Faria et al., (2015); Forsberg e Melak (2013)

UNIFAP UEAP UFPA UFAMA University of Oregan UFOPA Secretaria do Meio Ambiente UFPA Governo do Estado do Amapá CNPq

OBJETIVOS

Estudar a influência de parâmetros climáticos, hidrológicos, hidráulicos e hidrodinâmicos na qualidade da água e emissões de GEE nos reservatórios, com foco em equivalentes de Carbono (**kg CO2eq MWh/m2/h**).

Além do monitoramento espaço-sazonal da qualidade da água e emissões de GEEs, será verificada se as **emissões/km2** apresentam significâncias em relação às **médias nacionais e globais**.

UNIFAP UEAP UFPA UFAMA University of Oregan UFOPA Secretaria do Meio Ambiente UFPA Governo do Estado do Amapá

A metodologia apresenta as seguintes etapas:

a) Obter **séries hidroclimáticas**, hidrológicas, hidráulicas e hidrodinâmicas, além de dados obtidos in situ nos reservatórios;

b) Monitorar a **qualidade da água** e uso de séries históricas;

c) Monitorar as **emissões líquidas pós-inundação dos reservatórios**;

d) Estimar as emissões **pré-inundação dos reservatórios** por meio de campanhas de campo, modelagem e simulações de cenários. Espera-se avaliar como os parâmetros ambientais e operacionais impactam a qualidade da água, as emissões de GEE e sua relação com a **pegada de carbono** e se estas são significativamente distintas para cada UHE.

Fontes: IPCC (2006); Bertassoli Jr., et al., (2021); de Araújo et al., (2024); Dos Santos et al, (2018); De Faria et al., (2015); Forsberg e Melak (2013) ; Kemenes e Forsberg (2011)

UNIFAP UEAP UFPA UFAMA University of Oregan UFOPA Secretaria do Meio Ambiente UFPA Governo do Estado do Amapá CNPq

MATERIAIS E MÉTODOS / CRONOGRAMA

Quadro 1: Cronograma de atividades previstas para o desenvolvimento do projeto.

Etapas/Atividades	Início da realização	Prazo previsto	Conclusão
(Obj Geral 1) Planejamento geral, técnico, logístico e das atividades de campo e laboratório; reuniões com as empresas de geração hidráulica (UHEs), instituições de meio ambiente (SEMA), prefeituras municipais, lideranças do Comitê de Bacia do Rio Araguari-AP. reuniões com as empresas de geração hidráulica (UHEs), instituições de meio ambiente (SEMA), prefeituras municipais, lideranças do Comitê de Bacia do Rio Araguari-AP	1° mês	2 meses	2° mês
(Obj Geral 2) Revisão bibliográfica	1° mês	30 meses	30° mês
(Obj Geral 3) Obtenção e atualizações de séries históricas (climatológicas, hidrológicas, precipitação, evapotranspiração, hidráulico-operacionais, qualidade da água, hidrossedimentométricas, ambientais etc.) disponíveis em instituições federais, estadual e municipais ou empresas privadas	1° mês	30 meses	30° mês
(Obj Geral 4) Aquisição de novos equipamentos e material de consumo para análise da qualidade da água, hidrossedimentométrica e fluxos de gases (Fluxos de CO2/CH4). Verificação, calibração dos equipamentos de laboratório e testes de campo. atualização batimétrica (Cartas Marinha, ANA, HYBAM, etc.)	3° mês	4 meses	6° mês
(Obj Geral 5) Visitas prévias a campo (reservatórios e área de influência direta dos empreendimentos); mapeamento das áreas de estudo específicas (ecológica, ambiental, sanitária), instalações de suportes para equipamentos, etc.	2° mês	4 meses	6° mês

Mês Dezembro de 2025 e Janeiro/2026 – Visita SEMA

Orientações: PPGBIO/PPG-BIONORTE/ PPGCA e PROFÁGUA

Em processo de Cotação e Fonrecedores Mar-Jun/2026 e contato CNPq

05/Fev/2026 – Visita nas 3 UHEs

27-29/Abr/2026 – Campo nas 3 UHEs

UNIFAP UEAP UFPA UFAMA University of Oregan UFOPA Secretaria do Meio Ambiente UFPA Governo do Estado do Amapá CNPq

MATERIAIS E MÉTODOS / CRONOGRAMA

(Obj 6) Estudos customizados integrado com hidrodinâmica: ecologia, saneamento ambiental (dispersão de poluentes) e confrontação de cenários: hidrodinâmica, marés, biogeoquímica, dispersão de poluentes, dispersão de propágulos	12° mês	12 meses	24° mês
(Obj 7) Proposição e análise de cenários: mudança do clima x hidrologia, hidrodinâmica ambiental, impactos na qualidade da água, emissão de GEE, ecológicos, recursos hídricos e saneamento básico	13° mês	12 meses	25° mês
(Obj 8) Organização dos resultados e elaboração de Relatórios e publicações de artigos	12° mês	24 meses	30° mês
(Obj 9) Participação em eventos para a difusão dos resultados. Divulgação, a avaliação da eficácia e padronização de critérios do monitoramento na bacia (programa da qualidade da água (incluindo a pegada de Carbono) implementado em 2024 pela ANA e Governo do Estado do Amapá).	24° mês	6 meses	30° mês
(Obj 10) Contribuição de resultados do monitoramento e análise de cenários de mudanças do clima no plano de implementação de recursos hídricos da bacia do Rio Araguari.	32° mês	1 mês	32° mês
(Obj 11) Integração/consolidação dos estudos e cenários com vistas à mudança do clima, riscos climáticos e seus impactos nos reservatórios das UHEs. Redação e submissão de artigos (publicação em periódicos, dissertações e teses)	24° mês	12 meses	36° mês

Planejamento Batimetria, Hidrodinâmica e QA Abril/2026 - Reservatórios

UNIFAP UEAP UFPA UFAMA University of Oregan UFOPA Secretaria do Meio Ambiente UFPA Governo do Estado do Amapá CNPq

1ª e 2ª Campanhas na área dos reservatórios de UHEs - Reservatório da UHE CC / 05/Fev/2026 e 27-29/04/2026

Mapa Geral de Monitoramento da Qualidade da Água e Meio Ambiente – UHE CC

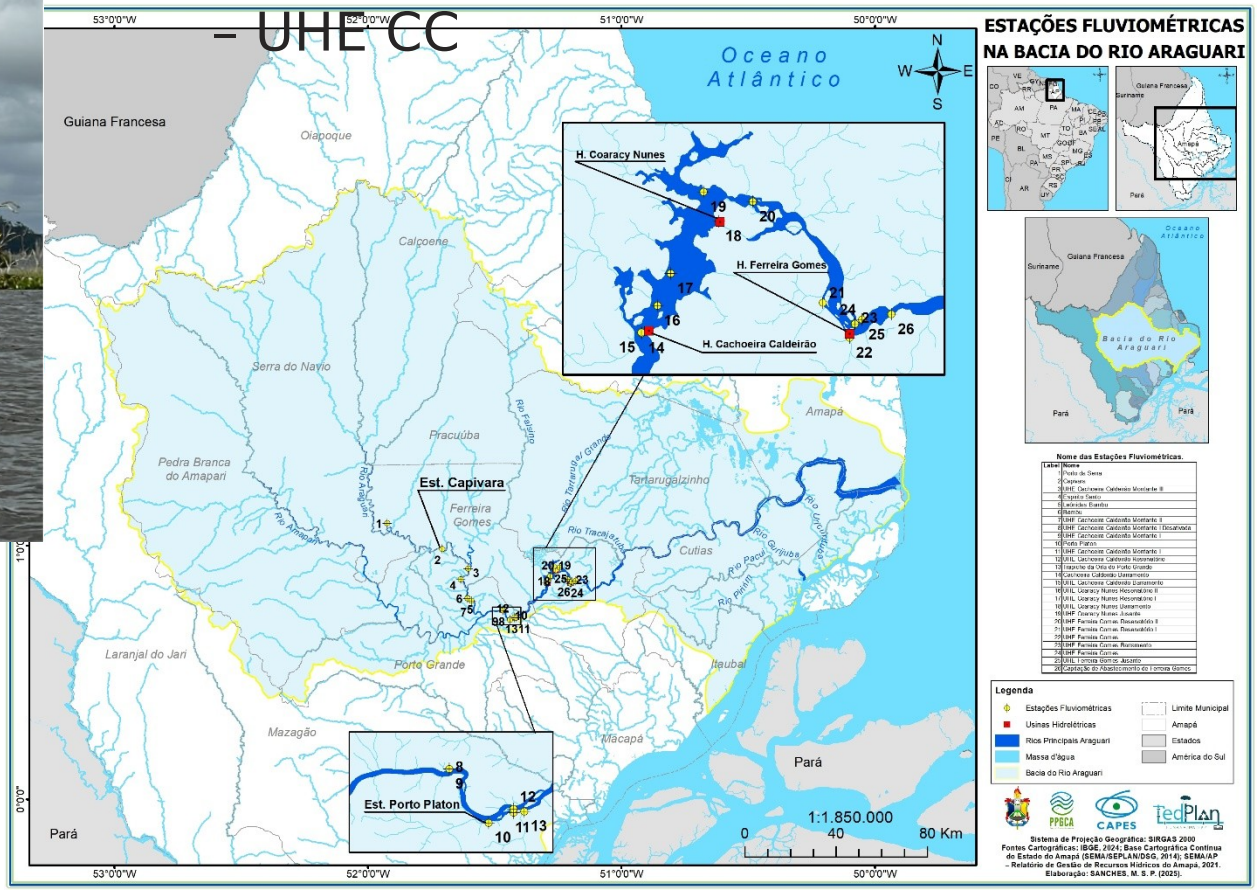


Figura 1 – a) Imagens do reservatório da UHECC; b) Mapa Básico dos 3 Reservatórios de Barragens (UHE FG, CN e CC). Fonte: Gerência da UHE CC durante o trabalho de Campo em 05/02/2026 e 27-29/04/2026

Fonte: Monteiro e Cunha (2026) – artigo submetido p RBGF

UNIFAP UEAP UFPA UFAMA University of Oregan UFOPA Secretaria do Meio Ambiente UFPA Governo do Estado do Amapá CNPq

Dr. Alan Cavalcanti da Cunha

MATERIAL E MÉTODOS - CAMPANHAS

1ª e 2ª Campanhas na área dos reservatórios de UHEs - Reservatório da UHE CC / 05/Fev/2026 e 27-29/04/2026

Figura 1 – Barragem da UHE
FG. Fonte: Trabalho de Campo em 05/02/2026

Dr. Alan Cavalcanti da Cunha

UNIFAP UEAP UFPA UFAMA University of Oregan UFOPA Secretaria do Meio Ambiente UFPA Governo do Estado do Amapá CNPq

MATERIAL E MÉTODOS - CAMPANHAS

1ª e 2ª Campanhas na área dos reservatórios de UHEs - Reservatório da UHE CC / 05/Fev/2026 e 27-29/04/2026

UNIFAP UEAP UFPA UFAMA University of Oregan UFO

Figura 2 – Imagens das atividades de campo. a) Vertedouro da UHECC; b) procedimento de coleta da equipe da SEMA (Progestão); c)

Fonte: Projeto Emissões CNPq na UHE CC (05/02/2026 e

MATERIAL E MÉTODOS - CAMPANHAS

1ª e 2ª Campanhas na área dos reservatórios de UHEs - Reservatório da UHE CC / 05/Fev/2026 e 27-29/04/2026

Figura 3: a) Barragem da UHE FG; b) coleta de amostras de água e monitoramento; c) imagem do reservatório de Ferreira Gomes. Fonte: Trabalho de Campo em 05/02/2026 e 27-29/04/2026;

UNIFAP UEAP UFPA UFAMA University of Oregan UFOPA Secretaria do Meio Ambiente UFPA Governo do Estado do Amapá CNPq

1ª e 2ª Campanhas na área dos reservatórios de UHEs - Reservatório da UHE CC / 05/Fev/2026 e 27-29/04/2026

Figura 4: a) Ponto de Controle a jusante da Barragem da UHE FG; b) coleta de amostras de água próximo da captação de água da CSA em Ferreira Gomes; c) monitoramento da qualidade da água na orla da sede municipal de Ferreira Gomes. Fonte: Trabalho de Campo em 05/02/2026;

UNIFAP UEAP UFPA UFAMA University of Oregan UFOPA Secretaria do Meio Ambiente UFPA Governo do Estado do Amapá CNPq

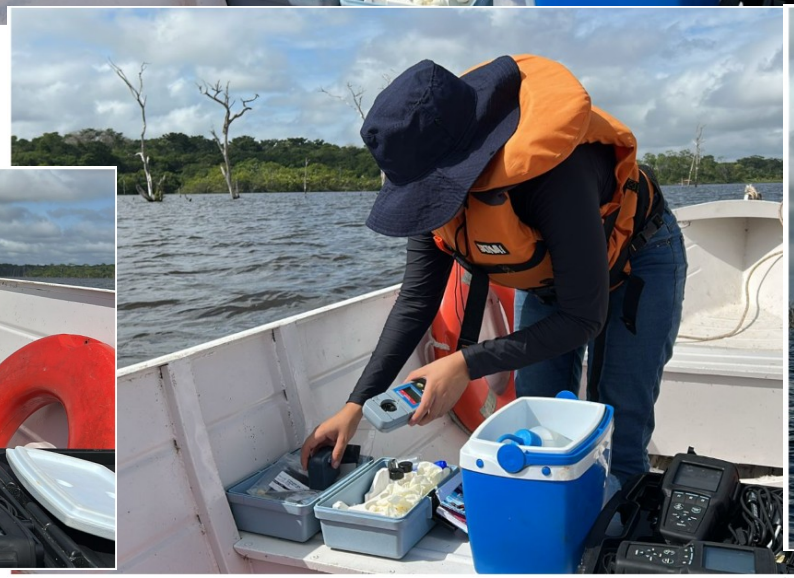
1ª e 2ª Campanhas na área dos reservatórios de UHEs - Reservatório da UHE CC / 05/Fev/2026 e 27-29/04/2026

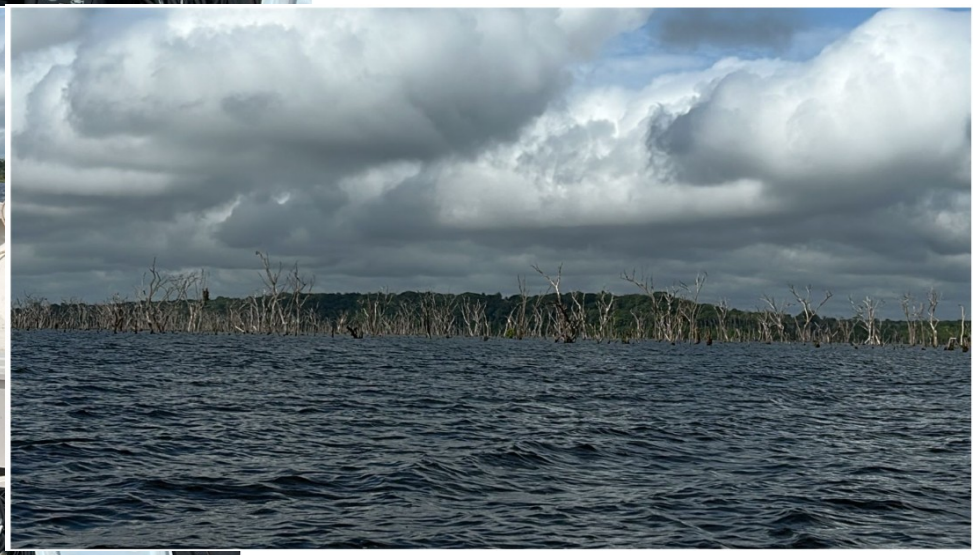
Figura 4: a) Ponto de Controle a jusante da Barragem da UHE FG; b) apoio com operação de drone e coleta de amostras de água próximo da captação de água da CSA em Ferreira Gomes; c) monitoramento da qualidade da água na orla da sede municipal de Ferreira Gomes. Fonte: Trabalho de Campo em 05/02/2026;

Dr. Alan Cavalcanti da Cunha

MATERIAL E MÉTODOS

1ª e 2ª Campanhas na área dos reservatórios de UHEs - Reservatório da UHE CC / 05/Fev/2026 e 27-29/04/2026





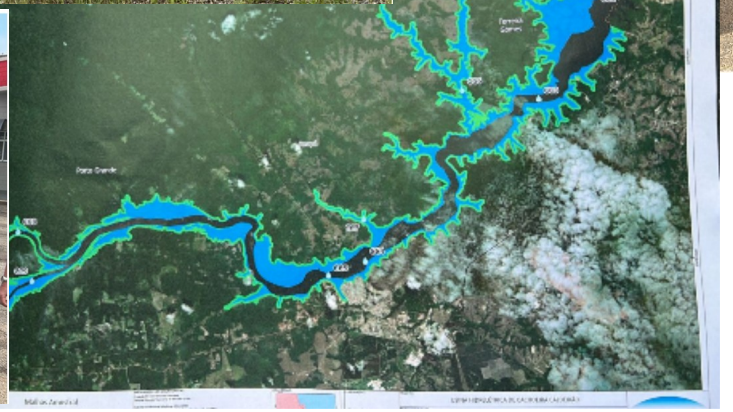
Palestra para o CERH/SEMA
Comissões de GEE em Reservatórios de Hidrelétricas em Série do Rio Araguari - A

Dr. Alan Cavalcanti da Cunha

UNIFAP UEAP UFPA UFAMA University of Oregan UFOPA Secretaria do Meio Ambiente UFPA Governo do Estado do Amapá

MATERIAL E MÉTODOS - CAMPANHAS

1ª e 2ª Campanhas na área dos reservatórios de UHEs - Reservatório da UHE CC / 05/Fev/2026 e 27-29/04/2026



UNIFAP UEAP UFPA UFAMA University of Oregan UFOPA Secretaria do Meio Ambiente UFPA Governo do Estado do Amapá

Dr. Alan Cavalcanti da Cunha

MATERIAL E MÉTODOS - CAMPANHAS

1ª e 2ª Campanhas na área dos reservatórios de UHEs - Reservatório da UHE CC / 05/Fev/2026 e 27-29/04/2026

UNIFAP UEAP UFPA UFAMA University of Oregan UFOPA Secretaria do Meio Ambiente UFPA Governo do Estado do Amapá

Dr. Alan Cavalcanti da Cunha

MATERIAL E MÉTODOS - CAMPANHAS

1ª e 2ª Campanhas na área dos reservatórios de UHEs - Reservatório da UHE CC / 05/Fev/2026 e 27-29/04/2026

Palestra para o CERH/SEMA
Missões de GEE em Reservatórios de Hidrelétricas em Série do Rio Araguari - A

Dr. Alan Cavalcanti da Cunha

UNIFAP UEAP UFPA UFAMA University of Oregan UFOPA Secretaria do Meio Ambiente UFPA Governo do Estado do Amapá CNPq

“ BORA PRO CAMPO “

Palestra para o CERH/SEMA

REFERÊNCIAS

1] Bertassoli Jr., D. J.; Sawakuchi, H. O.; de Araújo, K. R.; de Camargo, Marcelo G. P.; Além, V. A. T.; Pereira, T. S.; Krusche, A. V.; Bastviken, D.; Richey, J. E.; Sawakuchi, A. O. How green can Amazon hydropower be: Net carbon emission from the largest hydropower plant in Amazonia. Science Advances, v. 7, n. 26, p. 1-9, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1126/sciadv.abe1470.
2]Cunha et al. Evento extremo de chuva-vazão na bacia hidrográfica do rio Araguari, Amapá, Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia (Impresso), v. 29, p. 95-110, 2014.
3]Cunha, A. C.; Cunha, H. F. A.; Pinheiro, L. A. R. Modelagem e Simulação do Escoamento e Dispersão Sazonais de Agentes Passivos no Rio Araguari AP: Cenários para o AHE Ferreira Gomes-I-Amapá/Brasil. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 18, p. 67-85, 2013.
4]De Araújo, Kleiton R.; Sawakuchi, Henrique O.; Bertassoli, Dailson J.; Bastviken, David; Pereira, Tatiana S.; Sawakuchi, André O. Operational effects on aquatic carbon dioxide and methane emissions from the Belo Monte hydropower plant in the Xingu River, eastern Amazonia. Science of the Total Environment, v. 946, p. 174100, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174100.
5]De Faria, F. A. M. et al. Greenhouse gas emissions from reservoirs subjected to changes in water level. PLoS ONE, v. 10, n. 3, e0118143, 2015.
6]Dos Santos, E. S.; Lopes, P. P. P.; Nascimento, O. O.; Pereira, H. H. S.; Collin, R.; Sternberg, L. S. L.; Cunha, A. C. The impact of channel capture on estuarine hydro-morphodynamics and water quality in the Amazon delta. Science of the Total Environment, v. 624, p. 887-899, 2018.
7]Forsberg, B. R.; Melack, J. M. Carbon Dioxide and Methane Dynamics in Amazonian Rivers and Reservoirs. In: Amazonia and Global Change. American Geophysical Union, 2013.
8]Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. 2019.International Hydropower Association (IHA). G-res Tool: Modelling the Greenhouse Gas Footprint of Freshwater Reservoirs. 2017.
9]Kemenes, A.; Forsberg, B. R.; Melack, J. M. Methane release below a tropical hydroelectric dam. Geophysical Research Letters, v. 38, n. 6, L06408, 2011.
10]Rosa, L. P.; Santos, M. A.; Matvienko, B.; dos Santos, E. O.; Sikar, E. Greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical regions. Climatic Change, v. 66, n. 1-2, p. 9-21, 2004.
11]Santos, E. S.; Cunha, A. C. Análise de Cenários Hidrossedimentométricos para Estimar Taxas de Assoreamento e Vida Útil do Reservatório da UHE Cachoeira Caldeirão no Rio Araguari/AP-Brasil. Biota Amazônia, v. 5, p. 88-97, 2015.
12]Santos, E. S.; Cunha, A. C.; Cunha, E. D. S. Análise Espaço-sazonal da Qualidade da Água na Zona Flúvio-Marinha do Rio Araguari-Amazônia Oriental-Brasil. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, p. 215-226, 2014.
13]Santos, E. S.; Cunha, A. C.; Cunha, H. F. A. C. Hydroelectric power plant in the Amazon and socioeconomic impact on fishermen in Ferreira Gomes County - Amapá State. Ambiente & Sociedade, v. 20, p. 191-208, 2017.
14]Santos, P. V. C.; Cunha, A. C. Potencial de vazão ambiental: método participativo para estimar vazão ambiental em rios na Amazônia. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 23, p. 137-150, 2018.
15]Santos, P. V. J.; Cunha, A. C. Outorga de Recursos Hídricos e Vazão Ambiental no Brasil: Perspectivas Metodológicas Frente ao Desenvolvimento do Setor Hidrelétrico na Amazônia. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 18, p. 81-95, 2013.16]Silva, G. C. X.; Abreu, C. H. M.; Ward, N. D. et al. Environmental impacts of dam

Obrigado !!!!

Dr. Alan Cavalcanti da Cunha

alancunha@unifap.br

Email:

UNIFAP

ity of Oregan

UFOPA

Secretaria do Meio Ambiente

UFPA

Governo do Estado do Amapá