

GRUPO DE ESTUDO DE DESEMPENHO AMBIENTAL DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GMA

TRANSPORTE DE MATERIAL LENHOSO EM AMBIENTES FLUVIAIS: PROPOSTA DE MONITORAMENTO COMO FERRAMENTA DE MANEJO NO CONTEXTO DE USINAS HIDRELÉTRICAS

MURILO RADLOFF BARGHOUTHI(1); FERNANDO CAMARGO DA SILVA(1); ANDRESSA MURARO(1); TANIA MACHADO DA SILVA(2); LUIZ FABRICIO ZARA(2); BRUNO MARCHESI(1); BRUNA ARCIE POLLI(1); RENATO DE ARRUDA PENTEADO NETO(1); GHEYSA DO ROCIO MORAIS PIRES(1); DAVI DA SILVA NASCIMENTO(1); VICTOR HUGO MACHADO PINTO(3); CLAUDINEY FREITAS(3); ALEX BONARIO(3) LACTEC(1); FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA(2); JIRAU ENERGIA(3)

RESUMO

Nas últimas décadas houve o aumento significativo da compreensão do transporte de madeiras por meio fluvial. Em geral, madeiras fluviais se caracterizam por serem estáveis ao longo de corpos hídricos, entretanto, em determinadas regiões, quando movimentadas em grandes quantidades devido a cheias, podem causar diversos danos antrópicos. Neste contexto, o projeto PD-06631-0014/2020: “Desenvolvimento de metodologia integrada para o monitoramento do transporte de material lenhoso para a concepção de sistema de manejo de troncos submersos” propõe uma metodologia para o monitoramento do transporte dos detritos fluviais no rio Madeira com o emprego de diversas tecnologias para a concepção de um sistema de manejo inédito.

PALAVRAS-CHAVE

transporte; madeira; monitoramento; sensores; reservatório

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas houve o aumento significativo de pesquisas visando a compreensão do fenômeno de transporte de madeiras por meio fluvial, uma vez que os troncos, nestes ambientes ripários, são elementos funcionais. Visto que influenciam diversos processos como o transporte de sedimentos, a vegetação ripária, a biodiversidade de organismos, o ciclo de nutrientes e a variação física destes habitats, os troncos em sistemas fluviais se caracterizam como elementos de alta importância ecológica. Se caracterizam por serem estáveis nestes ambientes, entretanto, quando movimentados devido a ocorrência de cheias, podem causar diversos danos antrópicos de diferentes magnitudes (LE LAY; MOULIN; PIÉGAY, 2013; RUIZ-VILLANUEVA et al. 2016a).

Um exemplo comum é a ocorrência de inundações causadas pela perda de capacidade de transporte, devido à diminuição da largura do curso da água pela deposição destes materiais (CURRAN, 2010). Outros danos podem estar relacionados à mudança geomorfológica do leito e à ocorrência de assoreamentos, dada a influência na hidrodinâmica que troncos depositados causam em corpos fluviais (GURNELL et al., 2002). Apesar da retirada de troncos ser uma prática comum em diversos países na tentativa de mitigar estes problemas, sua reintrodução tem sido utilizada em diversos programas de restauração, a fim de melhorar as condições hidrológicas, morfológicas e ecológicas de sistemas fluviais degradados (MILLITGTON; SEAR, 2007).

Isto demonstra que o desafio no manejo de troncos em bacias hidrográficas é manter a sustentabilidade destes ecossistemas. Por um lado, o excesso destes elementos pode causar problemáticas antrópicas, uma vez que o elemento homem cada vez se torna mais participante nestas paisagens, causando inúmeras perdas econômicas de forma direta a usinas hidrelétricas, reservatórios e à navegação. Já a ausência destes pode causar outros problemas abrangendo aspectos ecológicos do rio como um todo: aumento da descarga sólida, perda de biodiversidade, ineficiência na ciclagem de nutrientes e até inundações, trazendo danos de forma indireta (RUIZ-VILLANUEVA et al. 2016a).

Assim faz-se necessário cada vez mais estudos que demonstrem a predição e o comportamento deste transporte, para elaboração de planos de manejo de detritos fluviais. Para uma ciência total do fenômeno de transporte de madeiras fluviais, estes estudos, precisarão integrar diferentes áreas de conhecimento (hidrologia, geoprocessamento, engenharia, florestal) e o espaço considerado (bacias hidrográficas, florestas, vegetações ripárias, corpos hídricos) (RUIZ-VILLANUEVA et al. 2016a). Com o aumento de empreendimentos hidráulicos, principalmente a construção de reservatórios, o manejo correto destes elementos se tornou uma atividade fundamental para uma boa operação destas estruturas (MOULIN; PIEGAY, 2004; SEO et al., 2010; RUIZ-VILLANUEVA et al. 2016b).

Em geral, os rios amazônicos são reconhecidos pela grande quantidade transportada de troncos, detritos flutuantes e submersos, principalmente no período de cheia. O papel ecológico que este material exerce no ambiente aquático está associado à dinâmica de colonização e reprodução de diversos organismos aquáticos e exportação de carbono (ZUANON; VILLARA, 2005). Já nos sistemas terrestres, nas áreas de projeção de inundação, observa-se a dispersão de propágulos que servem como estrutura física para abrigo de fauna. A manutenção da dinâmica fluvial do material lenhoso em reservatórios artificiais está associada à manutenção da ordem ecológica, hidráulica e cultural (SEO et al., 2010; RUIZ-VILLANUEVA et al. 2016a).

A usina hidrelétrica de Jirau, recém implantada no rio Madeira, enfrenta diversas dificuldades na operação e manejo da grande quantidade de troncos que é transportado pelo rio nos períodos de cheias. As dificuldades enfrentadas, em geral, estão associadas à pouca eficiência dos sistemas *Log Boom*, disponíveis no mercado, utilizados para o direcionamento dos troncos ao longo do reservatório até as estruturas vertentes projetadas para o seu descarregamento para jusante da barragem.

A falta de precisão da previsão da real quantidade de troncos aportada na bacia bem como o comportamento deste transporte, ora superficial ora submerso, corroboram para as dificuldades de identificação de práticas efetivas para o manejo destes detritos fluviais.

Além dos prejuízos à geração, existem outros danos em especial nas linhas dos sistemas *Log Boom* frente à ação física de retenção destes materiais lenhosos. Estima-se que no período de cheias aproximadamente 30.000 troncos superficiais cheguem ao reservatório diariamente, os quais são parcialmente conduzidos por linhas de *Log Boom* para um vertedouro específico para descarregá-los para jusante da barragem. Parte destes ficam retidos nas longas linhas de *Log Boom*, apresentando problemas de retenção de grande quantidade de troncos devido à formação de catenárias.

Como um fator agravante neste contexto, observa-se que quando o *Log Boom* detém desta condição de grande acúmulo, esta favorece a passagem de troncos de forma submersa e conseqüentemente, ocasiona o acúmulo de troncos nas tomadas d'água das usinas, sendo necessária a sua posterior retirada através de operações embarcadas complexas envolvendo a alocação de infraestrutura de navegação e içamento com auxílio de balsas, guindastes, garras, rebocadores e escavadeiras.

Atualmente só existe o conhecimento pelas equipes das totalizações destes materiais (em m³ ou toneladas) nas proximidades das grades realizadas através de imageamentos subaquáticos que subsidiam a alocação de recursos para a limpeza. Contudo, não há estudos no rio Madeira que demonstrem a caracterização detalhada desta fração removida de material lenhoso transportada de forma submersa e nem a caracterização do material ou dos fenômenos que causam um maior ou menor transporte, como a densidade do material transportado, teor de umidade dos troncos, quantidade de material retido e influência das operações realizadas nas usinas.

Em vista disso, a atual prática de manejo adotada para os troncos submersos carece de melhorias, sendo esta explicada pela falta de informações deste transporte. O desenvolvimento do projeto proposto (PD-06631-0014/2020) de um modelo preditivo do transporte submerso de material lenhoso, auxiliará na elaboração de boas práticas de gestão destes materiais em reservatórios, evitando acúmulos próximos às estruturas físicas visando resguardar a geração, em consonância com a manutenção e com a ordem ecológica.

2. METODOLOGIA

Será desenvolvido um plano de monitoramento de detritos fluviais ao longo do reservatório da UHE Jirau por meio da instalação de diversos sensores localizados em pontos estratégicos ao longo da bacia estudada, de forma semiautomatizada (necessidade de levantamentos pontuais in loco). O conjunto de sensores que compõe a metodologia proposta visa: (i) o monitoramento superficial, representado por câmeras posicionadas ao longo da bacia e estruturas da barragem em conjunto com vôos pontuais de aeronaves remotamente pilotadas (ARP) e (ii) monitoramento subaquático, constituído de levantamentos com sistemas hidroacústicos (sonares), capazes de gerar imagens subaquáticas multifrequenciais (250 a 1.300 kHz) em procedimentos estáticos e dinâmicos em varreduras, utilizando embarcação adaptada, em pontos simultâneos com o monitoramento superficial, a fim de se obter uma interface integrada de monitoramento. O resultado principal final será um balanço de massa que permita a quantificação e contabilização aproximada de material lenhoso transportada pela bacia e seu fracionamento em cada estrutura do empreendimento (curvas de transporte/acúmulo fluvial de material lenhoso; Figura 1). Uma representação do balanço de massa do material lenhoso transportado é apresentada na Figura 2.

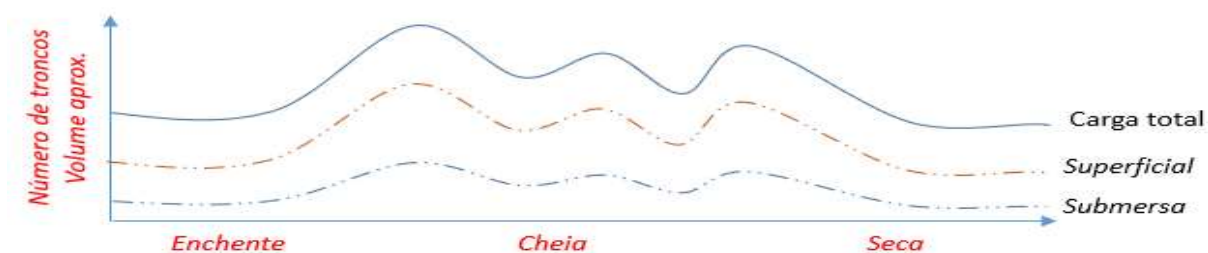


FIGURA 1 – Curva de transporte/acúmulo fluvial de material lenhoso.

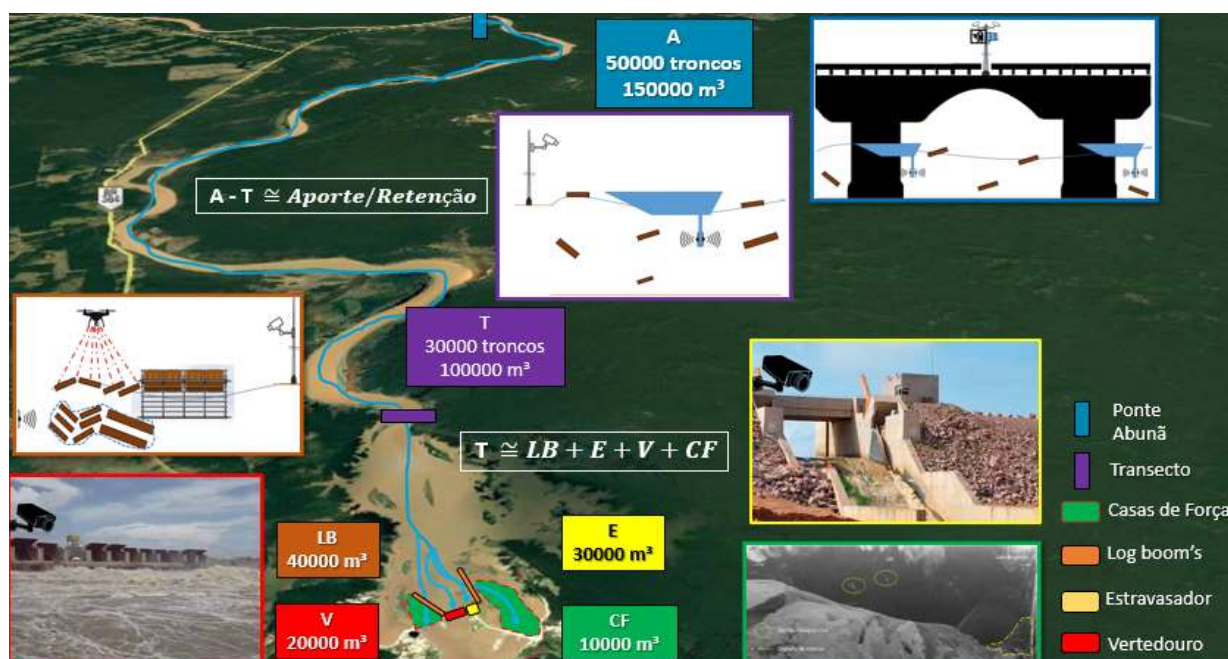


FIGURA 2 – Balanço de detritos na bacia de adução e compartimentos da UHE Jirau

O monitoramento em questão estará distribuído ao longo da extensão do reservatório da UHE Jirau, de forma a ser possível através de duas seções de controle sendo: (i) Ponte de Abunã - capaz de fornecer informações do aporte de madeira no reservatório ao passo que (ii) Transecto (antiga cachoeira de Jirau, seção estrangulada) - capaz de fornecer informações de controle da retenção/aporte do reservatório quando comparado com a seção superior (Abunã). Suas informações servirão de controle comparativo com as totalizações retidas, removidas e/ou defluídas nas formas submersa/flutuante nas estruturas e áreas próximas ao barramento sendo: (a) linhas dos *Log Boom* margens direita e esquerda; (b) pés de grade das unidades geradoras; (c) bacias de adução das tomadas d'água das casas de força 01 e 02; (d) recintos compreendidos entre as bacias de adução e as linhas dos *Log Boom* margens direita e esquerda; (e) Sistema descarregador de troncos.

Inicialmente, a partir dos resultados de uma visita de reconhecimento de campo, será realizado uma análise multicritério a fim de investigar os locais ideais para se obter a melhor solução de arranjo de sensores, contemplando aspectos técnicos, econômicos e tempo de implementação destes. Posteriormente será feito um planejamento para instalação do sistema de monitoramento composto pelas unidades de sensores, alimentação elétrica, segurança e rede de transmissão e recepção de dados. Estes terão finalidades específicas, com foco na identificação e posterior quantificação do material lenhoso na integridade da coluna d'água, através da captação de variáveis de interesse. Visto as diversas condicionantes do local a ser monitorado e particularidades tecnológicas que cada sensor apresenta, estes resultarão na geração de diferentes variáveis dos objetos-alvo do monitoramento.

TABELA 1 – Pontos de monitoramento e respectivos sensores utilizados e suas variáveis obtidas.

| Ponto | Sensores Utilizados | Variáveis obtida pelos sensores |
|-------|---------------------|---------------------------------|
|-------|---------------------|---------------------------------|

| | | |
|--------------------|--------------------------------------|-------------------|
| Ponte de Abunã | Câmeras fixas e Sonares | AR, Nsup, Nsub, C |
| Cachoeira de Jirau | Câmeras fixas e Sonares | AR, Nsup, Nsub, C |
| Log Boom's | Câmeras fixas, Sonares, ARP's, LiDAR | Vsup, Vsub e AR |
| Vertedouro | Câmeras fixas; ARP's | AR, Nsup, C |
| Extravasador | Câmeras fixas; ARP's | AR, Nsup, C |
| Casas de Força | Câmeras fixas; Sonares e ARP's | AR e Vsub |

NOTA: AR = Área de recobrimento de troncos; nsup = nº de troncos superficiais; nsub = nº de troncos submersos; Vsup = Volume de troncos superficial; Vsub = Volume de troncos submersos C = comprimento dos troncos

Depara-se então com o principal desafio do projeto em questão: a obtenção de uma única variável de interesse concomitantemente em todos os pontos de monitoramento, a dizer o volume de material lenhoso transportado ou depositado em UHE Jirau. Existe um limiar até onde as tecnologias empregadas conseguem alcançar uma determinada métrica desejada ou no caso da possível obtenção desta, serem factíveis de serem continuamente aplicadas. A partir deste ponto, faz-se necessário o uso de técnicas de estatística bem como a integração das diferentes interfaces do projeto que permitirão a obtenção desta variável final desejada.

Uma ocasião na qual este contexto fica muito bem evidenciado é durante o monitoramento das linhas *Log Boom*, estrutura de alto interesse dentro do contexto do projeto, visto que a atual solução de monitoramento cooperará para o desenvolvimento de uma melhor conformação e disposição destes atuais flutuantes, mitigando os impactos hoje ocorrentes na usina. A obtenção do volume superficial das áreas de detritos lenhosos acumulados nestas estruturas por meio de sistema LiDAR embarcado em drones, juntamente com a investigação subaquática simultânea através de sonares, gerarão o volume total contidos nestas duas interfaces nestas estruturas. Por meio da correlação desta variável de difícil obtenção (volume; LiDAR e sonares) com as respectivas áreas de recobrimento detectada (fácil obtenção; câmeras e ARP's), espera-se chegar em uma correlação entre a área de recobrimento de troncos e seu respectivo volume depositado nas linhas *Log Boom* (superficial e submerso). A partir disto, será possível propiciar uma interação com os dados obtidos de forma contínua por meio das câmeras (área), com a geração de estimativa do volume aproximado contido nestas estruturas (Figura 3).

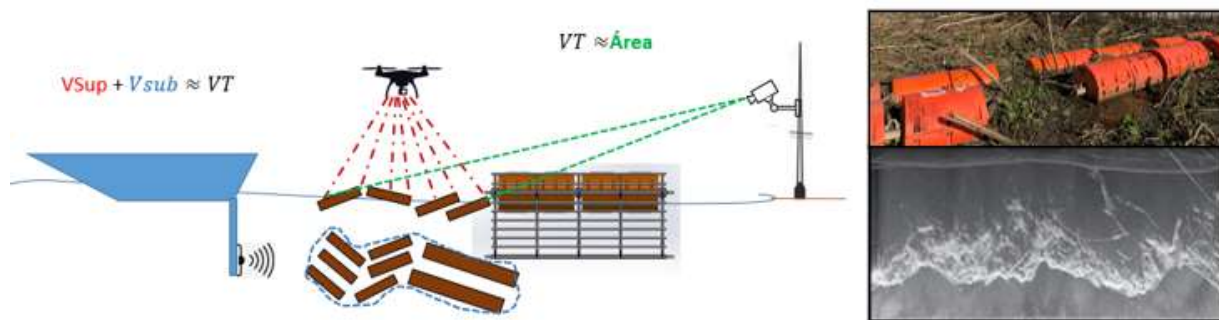


FIGURA 3 – Monitoramento no *Log Boom*.

NOTA: Vsup= Volume superficial; Vsub= Volume submerso; Vt= Volume Total

Porém, nos demais pontos de monitoramento fora da abrangência da usina como também nas suas respectivas estruturas de vertimento, os regimes de transporte são variados, pois trata-se de locais onde estes não são estáticos (depositados), mas sim dinâmicos (transportados). Desta forma, estes apresentam as seguintes conformações durante seu transporte: (i) em conglomerados de troncos e (ii) troncos individuais. No primeiro caso, espera-se através das diversas investigações subaquáticas realizadas durante o projeto, conhecer-se uma espessura média para estes conglomerados para se obter o volume aproximado desta massa de troncos flutuantes através da multiplicação pela respectiva área detectada pelos sensores ópticos. Já no segundo caso tratando de peças individuais, essa mesma lógica não pode ser aplicada, sendo necessária a obtenção tanto do comprimento como do diâmetro das toras para posterior cálculo de um tradicional volume de um cilindro. Para isso, o projeto contará com uma etapa de caracterização física dos troncos. Serão selecionadas toras aleatoriamente das balsas retiradas dos tradicionais procedimentos de limpeza de diferentes estruturas do reservatório detentoras de acúmulo de material lenhoso (*Log Boom* e casas de força), onde estas duas métricas dendrométricas serão obtidas. Posteriormente, será realizado o cruzamento destes dados de campo com os dados obtidos do monitoramento, onde a distribuição dos

diâmetros e comprimentos das toras inventariadas serão correlacionados aos comprimentos das toras detectadas pelos diferentes sensores, permitindo a obtenção do diâmetro e consequente volume aproximado destas peças nas imagens obtidas (Figura 4).

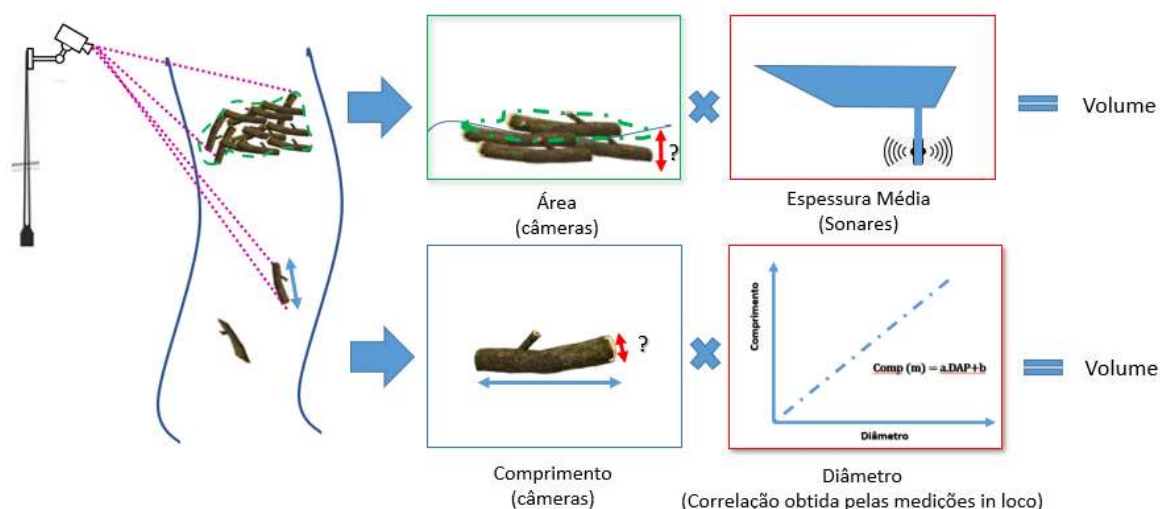


FIGURA 4 – Monitoramento proposto em locais com transporte de troncos.

Para a obtenção destes dados a partir das imagens obtidas pelos sensores ópticos e acústicos, serão desenvolvidos diversos algoritmos de reconhecimento automatizado de padrões, baseados em rotinas de visão computacional e inteligência artificial (IA), para a identificação de troncos superficiais e submersos que ultrapassam as regiões de monitoramento. Para a elaboração do algoritmo, serão empregados os dados coletados durante as campanhas de monitoramento, a fim de formar um *dataset* de amostras de treinamento e validação, resultando em modelos preditivos capazes de identificar troncos nas diversas configurações bem como retirada de variáveis (área, comprimento e número de troncos).

O volume de informações geradas a partir deste conjunto de sensores exigirá um banco de dados que será devidamente projetado para receber os dados extraídos do monitoramento através do algoritmo de reconhecimento de troncos. Este também contemplará uma série de tratamentos destes insumos das campanhas de monitoramento, os quais serão submetidos a processos de análise e validação para registro em banco de dados digital. Essa atividade é fundamental para a estruturação dos dados coletados em campo periodicamente e sua disponibilização, permitindo armazenar informações como número de troncos, data e hora de passagem e outras informações quantitativas ou qualitativas pertinentes ao monitoramento, facilitando a integração posterior dos dados.

Quanto ao arranjo temporal e de frequência das campanhas de monitoramento, o monitoramento proposto será distribuído ao longo de 2 (dois) ciclos hidrológicos completos, tendo diferentes periodicidades entre as interfaces de monitoramento superficial e submerso, visto as respectivas diferenças da metodologia de coleta: contínua e pontual. Por meio de técnicas estatísticas, espera-se correlacionar o transporte superficial com o submerso a fim de cobrir as janelas de monitoramento geradas pelos levantamentos pontuais (submerso).

Para o fechamento do balanço de massa proposto, o depósito do material lenhoso na estrutura das casas de força será monitorado através da integração de sensores superficiais e submersos, porém de forma distinta em relação aos demais locais monitorados, uma vez que seu depósito se caracteriza por ser predominantemente submerso. Antecedendo o período de limpeza dos troncos contidos nestas estruturas, tradicionalmente realizado com balsas e guindastes pela equipe de operação local, será obtida uma varredura subaquática através de sonares que permite o cálculo do volume depositado em cada unidade geradora das duas casas de força da usina estudada. Em seguida através da alocação de uma equipe integral em campo com o apoio de ARP's durante todo o procedimento de limpeza, se realizará o cálculo do volume de cada balsa retirada através de técnicas fotogramétricas. Por fim, quando se encerrar o processo de limpeza destas estruturas, estas serão imageadas novamente de forma subaquática, possibilitando verificar o volume total aportado e extraídos nestas estruturas anualmente. Esta informação será validada com a quantidade de material lenhoso submerso transportado detectado por varreduras subaquáticas pontuais realizadas nos sistemas *Log Boom* (Figura 5).

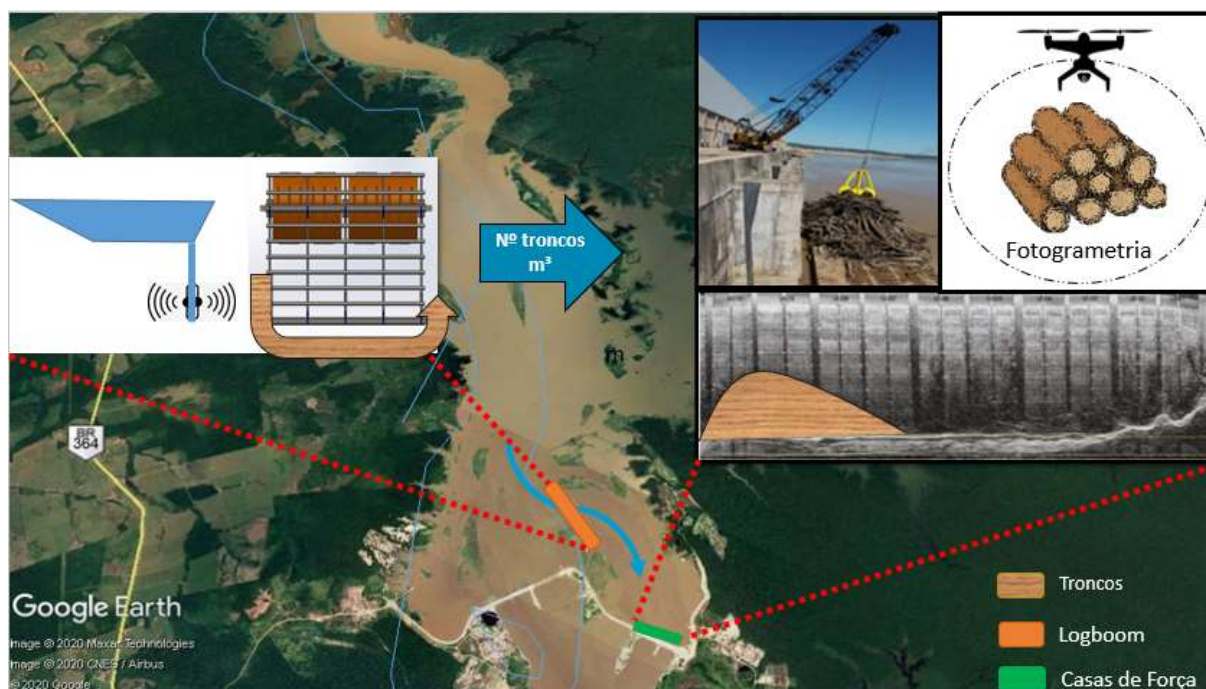


FIGURA 5 – Processo de validação do transporte submerso no *Log Boom* e Casas de força

Portanto, apenas o monitoramento da dinâmica e os depósitos de material lenhoso não é suficiente para alcançar a compreensão do fenômeno de madeiras fluviais no contexto inserido do projeto. Para isso, serão necessários estudos adicionais que subsidiem os dados obtidos pelo monitoramento, como estudo de modelagem hidrodinâmica, batimetria e a compreensão das características físicas dos troncos, que auxiliarão na compreensão do seu transporte na coluna da água e compartimentos do reservatório (*Log Boom*, Extravasador, Vertedouro e Casas de Força). A caracterização física dos troncos é fundamental para prever o comportamento de transporte de madeiras fluviais, que poderá oscilar de superficial para submerso e vice-versa, visto suas propriedades físicas (densidade, diâmetro e comprimento) e seu respectivo estado de deterioração (Macvicar et al., 2009; RUIZ-VILLANUEVA et al. 2016b). Estas serão criteriosamente analisadas por uma equipe em campo apta para averiguar todas as características dos troncos citadas acima, por meio do acompanhamento diário do procedimento de limpeza realizados em UHE Jirau. Além de fomentar com informações para o monitoramento como anteriormente apresentado (geração de volume de toras aproximado a partir dos respectivos comprimentos detectados), os dados desta etapa aumentarão a ciência do fenômeno estudado em questão, principalmente no que tange a fluvariabilidade da madeira e seu respectivo transporte submerso. Por exemplo, em relação ao levantamento da densidade dos troncos, estes complementarão os estudos de modelagem hidrodinâmica, por meio da adoção de diferentes densidades as partículas em um dos seus cenários previstos de modelagem.

Tratando da etapa de modelagem hidrodinâmica, esta foi subdividida em cinco atividades: (i) análise dos dados disponíveis; (ii) construção, testes e definição da grade numérica; (iii) calibração do modelo numérico; (iv) estudos de transporte de sedimentos e (v) evolução morfológica do reservatório e cenários de operação do reservatório para o desenvolvimento do sistema desviador de troncos de fundo. Estes abrangerão principalmente a investigação de velocidades, caminhos preferenciais do escoamento e desvio de troncos ou outros detritos de fundo, para cenários representativos a serem definidos. Nesta atividade também serão avaliados os depósitos de sedimentos nas estruturas, principalmente considerando o sistema de manejo de troncos de fundo a ser desenvolvido neste projeto.

Por fim, uma vez conhecendo-se a mobilidade destes detritos lenhosos fluviais no reservatório em questão, principalmente da sua fração submersa, serão desenvolvidas diretrizes para a projeção de uma nova alternativa de manejo de troncos submersos em UHE Jirau. Esta estrutura visará o desvio para dispositivos extravasores ou a retenção dos troncos transportados abaixo da lâmina na água para locais estratégicos de fácil retirada, evitando sua chegada em tomadas d'água, sendo alternativo e superior às atuais práticas de gestão de material lenhoso empregadas. O escopo dos estudos inclui então a comparação dos atuais procedimentos de retirada de detritos rastejantes que chegam ao pé das tomadas d'água, com estruturas alternativas para a o desvio ou retenção dos detritos, incluindo a localização dessas estruturas e as exigências logísticas para a remoção periódica deles. O posicionamento destas estruturas será definido com base: (i) nos estudos do campo de velocidades para diversos cenários de vazões, de geração e de vertimento; (ii) no conhecimento do volume de troncos que se movimentam pelo fundo e os trajetos preferenciais desta movimentação e (iii) os levantamentos batimétricos e geológico-geotécnicos do leito do rio. O retentor de fundo precisa ser associado a equipamentos de retirada dos detritos (balsas para a deposição dos detritos, guinchos/escavadeiras/Garras do tipo "Orange Peel" apoiados em balsa e

equipamentos auxiliares). Para definir as melhores opções será necessário levantar informações sobre: (i) os equipamentos rotineiramente utilizados para movimentar os troncos imersos; (ii) as condições de navegação necessárias para a manobra destes equipamentos; (iii) condições em que as manobras se tornam inviáveis (por exemplo cheia, manobra do vertedouro, ventos, ondas, etc.); (iv) a produtividade destes equipamentos.

3. RESULTADOS ESPERADOS

Com base na literatura atual da temática do presente projeto em andamento, observa-se que existem ainda muitas questões abertas e elementares a serem respondidas, o qual o corrente programa de monitoramento proposto apresenta grande potencial de cooperar com diversos avanços na área. O primeiro e mais destacável, é o monitoramento de elementos submersos, não encontrado nos monitoramentos atualmente empregados, gerando possíveis erros de estimativa da vazão afluyente de troncos (KRAMER; WOHL, 2014; GHAFARIAN et al., 2020; ZHANG et al. 2021). A integração deste transporte submersos com os dados de monitoramento superficial, é um avanço de segunda ordem, onde será possível construir tanto as curvas de transporte da carga total transportada bem como a construção de regressões que correlacionem estas duas possíveis vias de transporte. A síntese destes dados obtidos com o monitoramento, com estudos de densidade da madeira e modelagens hidrodinâmicas, poderá responder vários anseios de pesquisadores na área, por exemplo, de como troncos com diferentes características são transportados frente aos diversos gradientes espaciais aos quais estes estão submetidos (RUIZ-VILLANUEVA et al. 2016a; RUIZ-VILLANUEVA et al. 2016b).

Outro destaque de grande progresso na temática de madeiras fluviais, é o estudo de um corpo fluvial dotado de características tão únicas como o rio Madeira. Sua origem nos Andes concebe uma variação de cota incomum, o que ocasiona alta dinâmica nas regiões adjacentes (margens e igarapés) a este corpo hídrico e, consequente, altos volumes de recrutamento de madeira e alta turbidez. Vale também destacar sua introdução em uma das fitofisionomias mais diversas do planeta, concebendo a possibilidade do transporte de troncos das mais variadas espécies florestais. Estes são atributos não encontrados em rios explorados em outros estudos a respeito do tema. Quanto aos monitoramentos já empregados ao redor do globo, o rio Ain, principal rio alvo de monitoramentos localizado na França, conta com vazões médias de 130 m³/s, baixa turbidez e presença predominantemente de espécies de árvores temperadas, com baixa biodiversidade em relação a região do rio Madeira (RUIZ-VILLANUEVA et al. 2016b, WHANG et al, 2021). Em termos de vazão, o maior pesquisado dentro desta temática foi o rio Slave, no Canadá, com vazões médias no verão de 6.000m³/s, com a máxima registrada de 8000m³/s (KRAMER et al., 2017). Em contrapartida, na presente região de estudo, o rio Madeira conta com 31.200 m³/s de descarga líquida média, sendo sua máxima registrada de 57.500 m³/s. Conta ainda com uma alta turbidez da água, uma afluição estimada de 30.000 troncos por dia em seu período de cheias e uma alta diversidade de árvores em suas regiões inundáveis (476 espécies) (Adamy, 2016; Casula, 2012). Isto se traduz em espectros contrastantes, onde a atual pesquisa contará com muitos desafios a serem superados, gerando grandes avanços para a atual linha de pesquisa.

Adicionalmente, o projeto visará a formulação de uma metodologia para quantificação de volumes de pilha de detritos retirados de casas de força em usinas hidrelétricas, nos tradicionais processos de limpeza das tomadas d'água (retirada com auxílio de barcas e guindastes). Após este procedimento de remoção, existem dificuldades para a quantificação destes troncos de forma exata, precisa e eficiente. Nesse contexto, o emprego de veículos aéreos não tripulados, denominados drones, são ferramentas tecnológicas como alternativa às abordagens tradicionais para volumetria destes materiais. Estudos mostram a utilização de drones em conjunto com técnicas oriundas da aerofotogrametria para quantificar o material lenhoso em rios (SPREITZER et al., 2019; SPREITZER et al., 2020). Entretanto, não há relatos da utilização destas metodologias no contexto de usinas hidrelétricas que enfrentam essa problemática da quantificação de volumetria de troncos, especificamente, nos processos de limpeza de tomada d'água. Desta forma, a pesquisa possibilitará o desenvolvimento de uma metodologia inovadora para estes empreendimentos, visando a quantificação do acúmulo de madeira nas proximidades das suas estruturas, otimizando os seus respectivos processos de limpeza, permitindo um fluxo de trabalho mais eficiente e preciso.

A possibilidade da continuidade do presente programa de monitoramento, ao término do período previsto pelo projeto, poderá trazer benefícios complementares, conectando de forma mais precisa a relação entre volume gerado (inclusive submerso) e a frequência de cheias, relação ainda acompanhada de muitas incertezas de acordo com pesquisadores da área (RUIZ-VILLANUEVA et al. 2016a). Para isso, é necessário o estabelecimento de programas de longo prazo, onde se torna possível os avanços da correlação da carga sólida de madeira aportada com outros dados como pluviosidade, vazão, nível da água e, no caso inédito do projeto por se tratar de um estudo realizado no contexto de hidrelétricas, com os dados operacionais da usina em questão.

Uma vez comprovada a eficiência desta disposição de sensores e metodologias previstas dentro do presente monitoramento, para previsão e quantificação destes elementos fluviais, será possível replicar a metodologia em outras usinas com as devidas adaptações necessárias, de acordo com as características da bacia hidrográfica alvo. Vale ressaltar que atualmente entre Bolívia e Brasil há estudos sendo desenvolvidos para o aproveitamento hidrelétrico da bacia do rio Madeira, iniciativa das Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRAS) e a Empresa Nacional de Eletricidade (ENDE), onde o presente projeto apresenta grande potencial para ser replicado.

4. CONCLUSÃO

O presente projeto configura-se em um espectro de dualidade: por um ponto de vista, caracteriza-se pela inovação com o desenvolvimento de uma solução que traz em sua bagagem diversos avanços para a temática de madeiras fluviais, como também respostas que cooperarão para o desenvolvimento de resoluções para o manejo de corpos hídricos, principalmente reservatórios, que transportam uma grande quantidade de madeiras fluviais. Por outro lado, há diversos riscos a serem assumidos frente aos contextos desafiadores que o projeto está inserido, diferente das atuais propostas de monitoramento já empregadas para detritos fluviais: (i) a natureza ímpar da região de estudo, pelo contexto geomorfológico, hidrológico, fitogeográfico; (ii) a atual solução integrar diversas temáticas simultaneamente e (iii) parte destas temáticas ainda não terem sido devidamente exploradas por pesquisadores da área. Portanto, o projeto conta com uma validação da atual proposta de arranjos de sensores pela própria avaliação das características do material lenhoso *in situ* bem como o estabelecimento de sessões de controle a montante do reservatório, que possibilitará a validação dos dados obtidos pelos diversos sensores instalados ao longo da bacia, bem como no empreendimento hidrelétrico em questão, garantido assim seu teste de funcionalidade.

Destaca-se que além da maior ciência do fenômeno do transporte de madeiras fluviais e novas alternativas de manejo para sua respectiva fração submersa, a atual metodologia proposta inclui benefícios indiretos como melhorias em produtividade (redução homem-hora, materiais, insumos e/ou tempo de execução de atividades), efetividade energética (aumento na eficiência do sistema de geração) e valoração ambiental (minimização na dinâmica fluvial). Uma vez incorporada a futuros empreendimentos hidráulicos da região, serão extremamente relevantes em tempos de crise, onde os recursos financeiros, a ordem ecológica e os desafios socioeconômicos precisam ser conciliados e perdas de energia não serão aceitáveis.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ADAMY, A. (2016). Dinâmica fluvial do rio Madeira. **Edufro**. 2016
- (2) CASULA, K. R. (2012). **Análise da similaridade florística e estrutural das formações florestais inundáveis em um trecho do Alto Rio Madeira e de seus afluentes, estado de Rondônia, Brasil**. 2012. 51f. Dissertação(Mestrado em Meio ambiente). Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2012).
- (3) CURRAN, J. C. Mobility of large woody debris (LWD) jams in a low gradient channel. **Geomorphology**, n. 116(3-4), pg. 320–329. 2010.
- (4) GURNELL, A. M. et al. Large wood and fluvial processes. **Freshwater Biology**. n. 47, p. 601–619. 2002.
- (5) GHAFFARIAN H, PIÉGAY H, Lopez D, Rivière N, MacVicar B, Antonio A, Mignot E. 2020. Video-monitoring of wood discharge: first inter-basin comparison and recommendations to install video cameras. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 45, n. 10, p. 2219-2234, 2020.
- (6) KRAMER, N.; WOHL, E. Estimating fluvial wood discharge using time-lapse photography with varying sampling intervals. **Earth Surface Processes Landforms**, 39(6), 844–852. 2014.
- (7) KRAMER, N; WOHL, E.; HESS-HOMEIER, B.; LEISZ, S. The pulse of driftwood export from a very large forested river basin over multiple time scales, Slave River, Canada. **Water Resources Research**, 53(3), 1928-1947. 2017.
- (8) LE LAY, Y. F.; PIÉGAY, H.; MOULIN, B. Wood entrance, deposition, transfer and effects on fluvial forms and processes, problem statements and challenging issues. In: SHRODER (ed). **Treatise on Geomorphology**, vol. 12. Academic Press. San Diego, California. 2013.
- (9) MACVICAR, B. J.; PIÉGAY, H.; HENDERSON, A.; COMITI, F.; OBERLIN, C.; PECORARI, E. Quantifying the temporal dynamics of wood in large rivers, field trials of wood surveying, dating, tracking, and monitoring techniques. **Earth Surface Processes Landforms**. 2046, 2031–2046. 2009.
- (10) MILLINGTON, C. E.; SEAR, D. A. Impacts of river restoration on small-wood dynamics in a low-gradient headwater stream. **Earth Surface Processes Landforms**, n. 32(8), p. 1204–1218. 2007.
- (11) MOULIN, B.; PIÉGAY, H. Characteristics and temporal variability of large woody debris trapped in a reservoir on the river Rhône (Rhône): Implications for river basin management. **River Research and Applications**, n. 20, p. 79–97. 2004.
- (12) RUIZ-VILLANUEVA, V.; PIÉGAY, H.; GURNELL, A. M.; MARSTON, R. A.; STOFFEL, M. Recent Advances quantifying the large wood dynamics in river basins: New methods and remaining challenges. **Reviews of Geophysics**, v. 54, n. 3, p. 611-652, 2016a.

- (13) RUIZ-VILLANUEVA, V., PIÉGAY, H., GAERTNER, V., PERRET, F., & STOFFEL, M. (2016). Wood density and moisture sorption and its influence on large wood mobility in rivers. **Catena**, v. 140, p. 182-194, 2016b.
- (14) SEO, J. I.; NAKAMURA, F.; CHUN, K. W. Dynamics of large wood at the watershed scale: A perspective on current research limits and future directions. **Landscape Ecology Engineering**, n. 6, p. 271–287. 2010.
- (15) SPREITZER, G.; TUNNICLIFFE, J.; FRIEDRICH, H. Large wood (LW) 3D accumulation mapping and assessment using structure from Motion photogrammetry in the laboratory. **Journal of Hydrology**, v. 581, 2020.
- (16) SPREITZER, G.; TUNNICLIFFE, J.; FRIEDRICH, H. Using Structure from Motion photogrammetry to assess large wood (LW) accumulations in the field. **Geomorphology**, v. 346, dec. 2019.
- (17) ZHANG, Z. et al. Video monitoring of in-channel wood: From flux characterization and predictions to recommendations to equip stations. **Earth Surface Process Landforms**, 2021;1–16. 2021.
- (18) ZUANON, J., & VILARA, G. T. Associação entre peixes e raízes adventícias de plantas epífitas em afluentes do alto rio Madeira. IN: VII Congresso de Ecologia do Brasil. Caxambu – MG. 2005.

DADOS BIOGRÁFICOS



Sou estudante da Universidade Federal do Paraná e tenho experiência em manejo de ecossistemas aquáticos. Meu tema de pesquisa na graduação foi a alteração que plantas aquáticas podem ocasionar em reservatórios. Atualmente sou bolsista no Lactec, onde trabalho há 4 anos começando como estagiário, passando também pelo cargo de consultor técnico de projetos de P&D. Hoje estou junto a equipe desenvolvendo uma metodologia para o monitoramento do transporte de material lenhoso no Rio Madeira. Procuro oportunidades de colaborar com o bem-estar da sociedade e acredito que a preservação dos sistemas fluviais é um bom caminho para assegurar este objetivo.

(2) FERNANDO CAMARGO DA SILVA

Engenheiro Florestal formado no ano de 2013 pela Universidade Federal do Paraná, com especialização em Gestão e Gerenciamento de Projetos pela Universidade Positivo. Discente de mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal da UFPR, na linha de pesquisa de Conservação da Natureza. Pesquisador na área de Meio Ambiente no Lactec. Trabalha desenvolvendo projetos relacionados ao licenciamento ambiental, inventários florestais e recuperação de áreas degradadas, tendo atuado em diferentes biomas no território brasileiro, como Mata Atlântica, Pantanal e Pampa.

(3) ANDRESSA MURARO

Engenheira Cartógrafa e Agrimensora formada pela Universidade Federal do Paraná – UFPR e MBA em Gestão de Projetos - Faculdades da Indústria FIEP. Intercâmbio na Universidade do Porto - Portugal, realizando cadeiras no Mestrado de Engenharia Geográfica, Licenciatura em Física e Oceanografia. Como Pesquisadora no Lactec participou de projetos com aplicação de geociências em gestão e monitoramento de linhas de transmissão e reservatórios, SIG, aerolevante convencional e por ARP, promovendo a obtenção de diversos produtos cartográficos. Domínio em técnicas de sensoriamento remoto, levantamentos batimétricos, topográficos e geoprocessamento. Envolvimento em projetos de P&D ANEEL com aplicações de machine learning, imagens orbitais e geotecnologias.

(4) TANIA MACHADO DA SILVA

Bacharel em Gestão Ambiental, Mestre em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural e Doutoranda em Ciências Ambientais pela Universidade de Brasília. Possui 11 anos de experiência em projetos desenvolvidos na região Amazônica brasileira sobre a qualidade da água, saúde humana e metalômica aplicada ao desenvolvimento de biomarcadores de toxicidade do mercúrio aplicados ao setor hidrelétrico. Atua nas áreas de geoprocessamento; monitoramento ambiental; limnologia e química aquática de sistemas lênticos e lóticos; química do mercúrio em reservatórios, impactos, emissões na interface água-atmosfera, dinâmica de metilação e possíveis riscos da exposição humana; e, sistema multifrequencial de aquisição de imagens subaquáticas.

(5) LUIZ FABRICIO ZARA

Atualmente é professor associado I da Universidade de Brasília - UnB e membro titular do Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais - PPGCA/UnB. O pesquisador possui 69 artigos científicos publicados, 03 capítulos de livros, orientação de 25 dissertações de mestrado e 08 teses de doutoramento. Recentemente coordenou o projeto de P&D-ANEEL intitulado "Biomarcadores de toxicidade do mercúrio aplicado ao setor hidrelétrico na região Amazônica" executado pela rede de pesquisadores formada pela Universidade de Brasília – UnB, Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia – INPA, Universidade de Campinas – UNICAMP, Universidade Estadual Paulista – UNESP e Pontifícia Universidade Católica de Goiás – PUC Goiás.

(6) BRUNO MARCHESI

Atualmente é pesquisador do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC. Vem atuando nos seguintes projetos: sistemas e equipamentos de medições para a qualidade da energia elétrica; sistema para posicionamento, localização e reconhecimento automatizado e inteligente de estados de chaves seccionadoras em subestações de energia elétrica; sistema computacional de despacho otimizado e automático de serviços utilizando monitoramento on-line baseado em rede inovadora de comunicação híbrida com meios alternativos; investigação de métodos de menor custo para prospecção e avaliação do potencial solar brasileiro; sistema de detecção de faltas em elementos de rede de distribuição elétrica, através de algoritmos de visão computacional.

(7) BRUNA ARCIE POLLI

Doutora em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA) da UFPR, com período de Doutorado Sanduíche no Karlsruhe Institute of Technology na Alemanha. Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (2014). Possui graduação em Engenharia Ambiental pela UFPR (2012). Possui pós-doutorado em Engenharia Ambiental e pós-doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. É pesquisadora no Lactec desde 2019 na área de

hidrologia e tem experiência na área de modelagem matemática e numérica, abordagens quali-quantitativas e danos ambientais. Também atua como coordenadora de projeto de pesquisa.

(8) RENATO DE ARRUDA PENTEADO NETO
É pós-doutor (2021) e doutor em Engenharia de Materiais (2005), mestre em Física (1996) e Engenheiro Eletricista (1977). Todos os títulos foram obtidos na Universidade Federal do Paraná. É consultor ad hoc do CNPq. É líder do grupo de pesquisas certificado no CNPq, com o tema "Estudos sobre a emissão de poluentes e o desempenho mecânico de veículos e motores a combustão alimentados por combustíveis fósseis e biocombustíveis". Diretor da P&K Consultoria (Curitiba). Pesquisador aposentado dos Institutos Lactec, onde continua atuando como consultor na coordenação de projetos de pesquisa e em atividades correlatas.

(9) GHEYSA DO ROCIO MORAIS PIRES
Possui graduação em Tecnologia em Química Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2007) e mestrado em Sustainable Management and Protection of Water pela Technische Universität Braunschweig (2009). Desde 2010 é Pesquisadora em Meio Ambiente no Lactec. Atua principalmente nas seguintes linhas de pesquisa: Monitoramento da Qualidade da Água e Sedimentos em Reservatórios Artificiais de Usinas Hidrelétricas, Qualidade de Sedimentos em Ambientes Continentais e Estuarinos, Elaboração de Planos de Conservação e Uso do Entorno de Reservatórios Artificiais (PACUERA), Estudos da Influência da Qualidade da Água no Desenvolvimento de Macrófitas Aquáticas, Estudos de Impacto Ambiental e Gerenciamento de Resíduos e Efluentes.

(10) DAVI DA SILVA NASCIMENTO
Possui graduação em Engenharia Cartográfica pela Universidade Federal do Paraná (2003), especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho. Atualmente mestrando em Desenvolvimento de Tecnologia no Lactec. Professor titular no período de 2015 a 2018 das disciplinas de Topografia I e II e Engenharia de Transportes I e II do Centro Universitário Autônomo do Brasil - UNIBRASIL. Desde 2017 é pesquisador do LACTEC, atuando na área de Geossoluções em atividades de planejamento, execução e geração de produtos cartográficos a partir de serviços de topografia e geodésia.

(11) VICTOR HUGO MACHADO PINTO
Engenheiro Civil graduado pela Universidade Federal de Juiz de Fora, com MBA em Gerenciamento de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas. Atualmente compoñho a equipe técnica da Gerência de Engenharia Civil e Segurança de Barragem da UHE Jirau, atuando na gestão dos trabalhos de manejo de troncos e demais atividades técnicas correlatas.

(12) CLAUDINEY FREITAS
Claudiney Freitas, iniciou sua carreira profissional em 2002 no LCEC-CESP Laboratório CESP de Engenharia Civil (Ilha Solteira/SP), e posteriormente atuou em grandes empresas como PPE e Votorantim. Tem larga experiência na atuação em Projetos, Construção, Gerenciamento e Supervisão de Obras de Infraestrutura, Grandes Barragens, PCHs, Pontes, Túneis e Rodovias, dentre outras. Atualmente ocupa a Gerência de Engenharia Civil e Segurança de Barragens da Jirau Energia. Formação: Engenharia Civil pela UNESP – Universidade Estadual Paulista (Júlio de Mesquita Filho - FEIS), MBA em Gestão de Projetos, MBA em Gestão Empresarial pela FGV e cursa Especialização em Segurança de Barragem - IPT.

(13) ALEX BONARIO
Engenheiro Civil, Pós graduando em Segurança de Barragens pelo IPT, Atuando a mais de 10 anos com auscultação e instrumentação de barragens, inspeção de segurança e manutenção civil em barragens e estruturas civis de usinas hidrelétricas.