



Grupo de Estudo de Desempenho Ambiental de Sistemas Elétricos-GMA

**MONITORAMENTO DO DESENVOLVIMENTO E DESPRENDIMENTO DE BANCOS DE MACRÓFITAS
AQUÁTICAS EM RESERVATÓRIOS EMPREGANDO GEOTECNOLOGIAS, TÉCNICAS DE
SENSORIAMENTO REMOTO E MODELAGEM HIDRODINÂMICA**

JULIO WERNER YOSHIOKA BERNARDO(1); JOÃO PAULO JANKOWSKI SABOIA(2); ANDRESSA MURARO(3); HENRIQUE REISDORFER LEITE(4); BERNARDO LIPSKI(5); GHEYSA DO ROCIO MORAIS PIRES(6); MURILO RADLOFF BARGHOUTH(7); LUIZ FERNANDO BRUM TEIXEIRA(8); CESAR JOÃO ANDREAZZA(9); DAVI DA SILVA NASCIMENTO(10); FABIANO SCHEER HAINOSZ(11); SORAIA TAMIE QUICU(12); MARIA REGINA TORRES BOEGER(13); RONAN MAX PROCHNOW(12); CARLOS NASCIMENTO(12); DANIELLE DRAGO(14);

RESUMO

Sistemas de geração de energia hidroelétrica são danificados quando são atingidos por macrófitas que se desprendem em reservatórios. Gastos adicionais gerados por tais danos podem ser evitados com um maior entendimento dos principais fatores que regem a dinâmica e crescimento destas plantas. O foco deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema que integra informações de diversas fontes (sensoriamento remoto, levantamentos de biomassa, qualidade da água e modelagem hidrodinâmica) relacionando-as para fornecer indicativos de situações críticas. A integração entre diversas tecnologias, já produziu informações relevantes e com grande potencial de gerar um manejo mais assertivo das macrófitas aquáticas.

PALAVRAS-CHAVE

Macrófitas Aquáticas, Sensoriamento Remoto, Hidrodinâmica, Manejo Assertivo

1.0 - INTRODUÇÃO

O crescimento exacerbado de plantas aquáticas em reservatórios de hidrelétricas pode gerar alguns inconvenientes como o entupimento de tubulações, problemas nas turbinas pelas frequentes descargas pelos vertedouros a fim de retirar as plantas e que resulta em desperdício de água e a diminuição da produção elétrica (THOMAZ; BINI, 2003). Segundo Pompêo (2008), no sistema Pirai-Paraíba do Sul, a Light utilizou recursos da ordem de U\$ 3.000.000/ano com a retirada diária de 40 caminhões de macrófitas aquáticas. O mesmo autor comenta ainda que a CHESF, no sistema Moxotó-Paulo Afonso (BA), retirou das grades de proteção de entrada de água das turbinas grande quantidade da macrófita Egeria densa. Além disto, quando somados os prejuízos relacionados à interrupção da geração de energia pela paralisação das turbinas, mesmo que temporariamente, os custos são ainda maiores. Portanto, a presença exagerada de macrófitas geram custos adicionais e ainda geram alguns problemas ambientais.

Afim de se reduzir ou eliminar esses problemas, técnicas de manejo são aplicadas para controlar a proliferação das macrófitas aquáticas pelo reservatório. Normalmente, o manejo foca na remoção das macrófitas controlando seu crescimento fisicamente, quimicamente ou ecologicamente. Para se ter um manejo eficiente, independentemente do tipo de controle que seja adotado, é preciso ter conhecimento prévio sobre a composição de espécies, dinâmica de crescimento, dos fatores bióticos e abióticos que interferem em seu desenvolvimento (POMPÊO, 1999).

Atualmente muitas informações de sensoriamento remoto são disponibilizadas gratuitamente e podem ser aplicadas no manejo das macrófitas. Métodos usando o sensoriamento remoto podem fornecer séries temporais das áreas ocupadas pelas plantas aquáticas e já são aplicadas em reservatórios e lagos (VILLA et al., 2017;

WAITHAKA et al., 2018). No entanto, isoladamente, a variabilidade de ocupação não indica quais os fatores que estão controlando as variações. Por este motivo, o foco deste trabalho se deu no desenvolvimento de um sistema que integra informações de diversas fontes (sensoriamento remoto, levantamentos de biomassa, qualidade da água e modelagem hidrodinâmica) e ainda as relacionam para fornecer indicadores de situações críticas. O sistema integrador como um todo será descrito na próxima seção. Somente as partes do levantamento por sensoriamento remoto e da modelagem hidrodinâmica serão detalhados nesse artigo.

2.0 - SISTEMA INTEGRADOR

A solução proposta compreende a implantação de um sistema integrado para o controle dos bancos de macrófitas aquáticas flutuantes e submersas com o uso de imagens de satélite associadas a modelagens de parâmetros hidrológicos e hidrodinâmicos. Sua interface gráfica permitirá visualizar e acompanhar o desenvolvimento sazonal dos bancos de macrófitas e um mecanismo de alerta acionará as alterações mais significativas. Deste modo, as equipes poderão alinhar diversas ações preditivas para o controle e manejo das macrófitas proporcionando a manutenção dos reservatórios.

O esquema gráfico apresentado na Figura 1 sintetiza o sistema para a detecção e manejo das macrófitas aquáticas, bem como suas principais áreas do conhecimento aplicadas em seu desenvolvimento. O sistema concentrará um módulo de download automático e periódico de dados orbitais gratuitos para elucidar a dinâmica de ocupação das plantas aquáticas. Estes processamentos têm por finalidade separar os principais padrões reconhecidos para a representação espacial de temas de interesse, mapeando-se as regiões compostas por água, ilhas e com a presença de macrófitas emergentes, flutuantes e submersas, por exemplo. Assim é possível calcular os respectivos percentuais das classes e, a partir de cada imageamento, acompanhar a sazonalidade da ocupação das plantas aquáticas no reservatório.

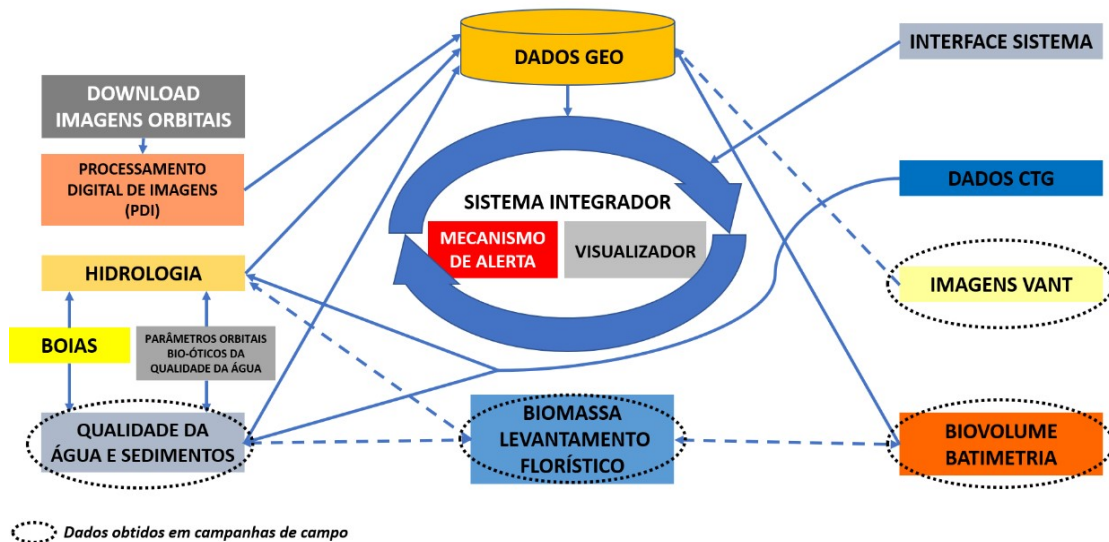


FIGURA 1 – Sistema integrador automatizado com mecanismo de alerta

Além do acompanhamento da presença das macrófitas aquáticas, o sistema absorverá as informações ambientais do estado atual obtidas por meio de campanhas de campo, modelagens dos parâmetros hidrológicos da qualidade de água e do cálculo da biomassa e eventuais imageamentos de alta resolução espacial com VANT. Por fim, com essa gama de informações centralizadas sobre a dinâmica de macrófitas e do estado atual do reservatório serão avaliados os potenciais indicadores que possam sinalizar eventos significativos de chegada de macrófitas na barragem. Serão apresentados aqui alguns indicadores físicos e a classificação realizada por sensoriamento remoto.



O processo de classificação torna a interpretação de imagens mais simples separando em grupos de pixels com características espectrais similares. A classificação supervisionada consiste em definir áreas de treino através da identificação por imagens aéreas ou fotografias terrestres da região, informando essas amostras ao computador. Diante dessa informação, os valores correspondentes às categorias são usados para cálculos de parâmetros estatísticos e, assim, aplicados em regras de decisão que determinam as classes de cada pixel presente na imagem. O classificador Distância Euclidiana Mínima (MD) se baseia na diferença espectral entre as leituras do pixel e o vetor de médias para cada classe. Isto é, o algoritmo analisa a probabilidade de um pixel pertencer a uma classe usando o critério da mínima distância ao centro da classe, assumindo um desvio padrão e uma população igual para todas as classes (LIRA et al., 2016). A classificação consta das seguintes etapas:

- Definição das classes;
- Coleta das amostras de treinamento;
- Análise da distinção entre as respostas espectrais das classes;
- Classificação MD: Onde todos os pixels da imagem são enquadrados dentro de uma destas classes, geralmente a mais parecida em termos espectrais;
- Avaliação da qualidade da classificação: elaboração da matriz confusão com o subsídio de dados da referência terrestre.

A partir da imagem classificada é calculada a porcentagem da área ocupada pelas macrófitas. Adicionalmente, o levantamento de satélite foi comparado com a quantidade de biomassa levantada em campanhas de campo realizadas em junho e agosto de 2018.

Além do sensoriamento remoto, indicadores físicos foram estimados para avaliar seus efeitos sobre a dinâmica de ocupação das macrófitas. Os seguintes indicadores serão detalhados: o indicador de zona fótica, a tensão no fundo e o tempo de chegada na barragem. O indicador de zona fótica é relacionado com o crescimento das macrófitas e o restante com o desprendimento destas plantas.

A zona fótica é relacionada com o crescimento já que indica as zonas em que a luz atinge até o leito do reservatório favorecendo a fotossíntese. A UHE Jupia opera de forma que o nível do reservatório não se altere muito, por este motivo a cota do nível de água se mantém constante em 279,6 m e apresenta pequenas variações de nível (~50cm). Deste modo, as profundidades não se alteram muito ao longo do tempo e, conseqüentemente, as zonas com disponibilidade de iluminação também se mantêm estáveis. Por este motivo, o reservatório foi dividido em 5 classes de profundidades (3 m, 6 m, 9 m, 12 m e 15 m). Cada classe representa um potencial de crescimento de macrófitas, as classes acima de 6 metros foram consideradas de baixo e baixíssimo potencial de crescimento e as classes menores que 6 metros de alto e altíssimo potencial. Esse critério se deve ao fato que a profundidade de disco de Secchi é aproximadamente esse valor.

A tensão de fundo foi estimada por meio de modelagem paramétrica de ondas (HIPSEY et al., 2017) e representa a força que age sobre o fundo do reservatório devido as ondas induzidas por vento. Dependendo da intensidade dessa força, o sedimento entraria em movimento podendo então auxiliar no desprendimento das macrófitas fixadas. Existem conexões que relacionam a tensão com o tamanho de partícula que pode ser ressuspensa, assim esse critério foi utilizado para classificar a tensão em seis classes indicando que fração de sedimento seria movido (argila, silte, areia fina, areia média, areia grossa, pedregulho fino).

O último indicador é o tempo de chegada que foi obtido por modelagem hidrodinâmica (DELTARES, 2018) acoplado com o modelo de transporte Lagrangeano (LANGE E SEBILLE, 2017). Partículas foram lançadas por todo domínio do modelo e, subseqüentemente, o tempo de chegada de cada partícula até a barragem foi estimado. Deste modo, caso se saiba de algum desprendimento em alguma parte do reservatório, se tem uma estimativa média de quanto tempo esse desprendimento levará até a barragem.

3.0 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dois componentes do sistema integrador são apresentados: as estimativas de ocupação de macrófita por sensoriamento remoto e os indicadores físicos que podem indicar, por exemplo, pontos quentes de crescimento e de desprendimentos de macrófitas.



XXV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

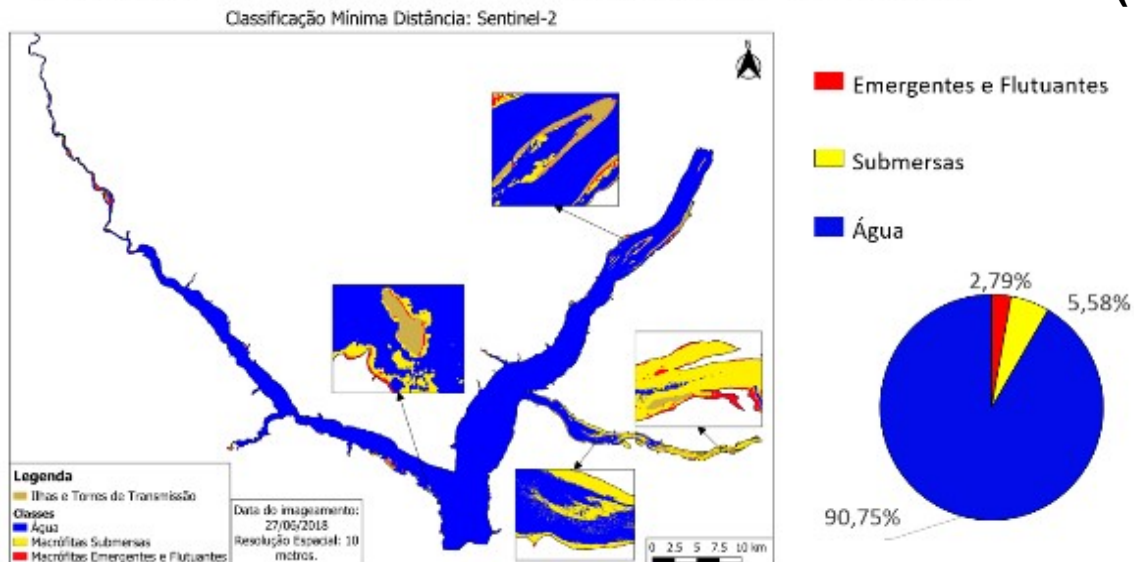
3922
GMA/24

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG

3.1 Estimativa por Sensoriamento Remoto

As imagens orbitais foram classificadas considerando regiões sem a presença de nuvens e conforme a órbita em que o satélite estava posicionado no momento do imageamento. Conforme a Figura 2, a imagem da 1ª Campanha, realizada no inverno, indicou que as áreas mais críticas estavam situadas no rio Tietê e na foz do rio Sucuriú. Já para a 2ª Campanha, em agosto, teve um aumento significativo nessas áreas, principalmente, no que se refere às macrófitas submersas. O levantamento de biomassa fresca das macrófitas submersas em alguns pontos de coleta que representam também aumentaram entre a 1ª e 2ª campanhas, conforme a Tabela 1.

CLASSIFICAÇÃO 1ª CAMPANHA (Junho) (a)



CLASSIFICAÇÃO 2ª CAMPANHA (Agosto) (b)

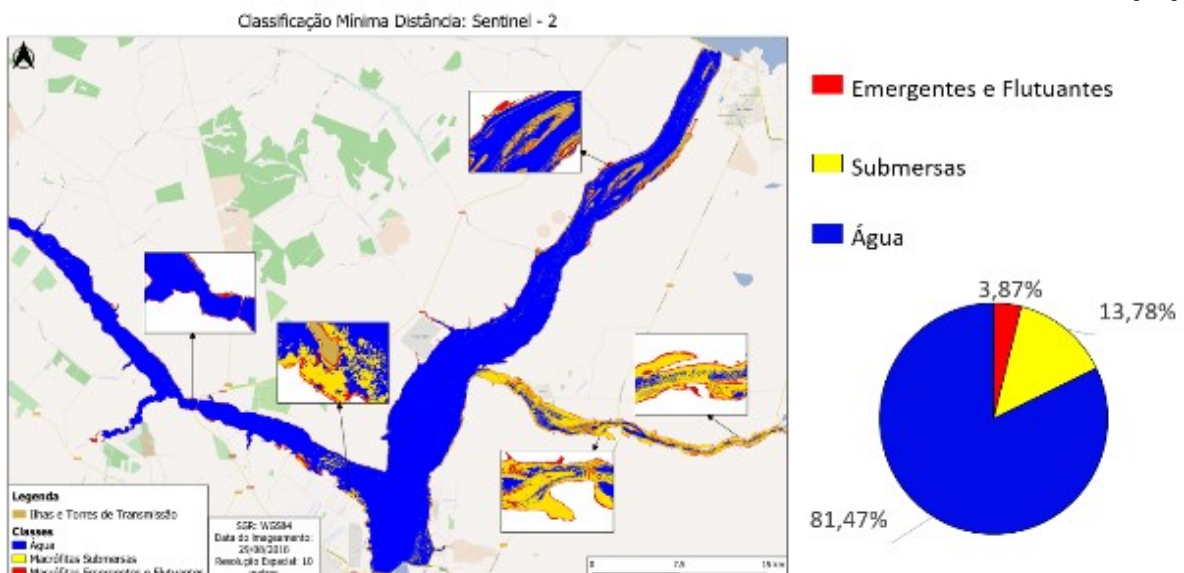


FIGURA 2 – Classificação da Ocorrência de Macrófitas Sentinel-2 para a 1ª Campanha (a) e 2ª Campanha (b).

Tabela 1 – Valores médios de biomassa fresca (kg.m⁻²) de macrófitas aquáticas submersas*, por ponto amostral, na primeira e segunda campanha, na UHE Jupia (N = 5)

Ponto 1	Biomassa fresca (g/m ²)	
	1ª Campanha	2ª Campanha
	2686	4727

(*) Rodovia BR-116, Km 98, n 8813, Jardim das Américas – CEP 81531-980 Curitiba, PR – Brasil
Tel: (+55 41) 3361-6314 – Fax: (+55 41) 3361-6200 – Email: julio.bernardo@lactec.org.br

Ponto 2	2493	10685
Ponto 3	504	5342

3.2 Indicador Físicos

Nesta seção são apresentados os principais indicadores físicos relacionados com o crescimento e desprendimento de macrófitas. São eles a zona fótica relacionada com o crescimento e a tensão no fundo induzida por ondas e vento e tempo de chegada que estão relacionados com o desprendimento. Foram selecionados somente alguns dos produtos para serem ilustrados aqui.

O indicador de zona fótica é apresentado na Figura 4. A zona fótica foi dividida em 5 classes relacionadas com o potencial de crescimento. A área no interior do reservatório com disponibilidade de luz é expressiva, sendo que 51% apresentou potencial de crescimento moderado, alto e altíssimo.

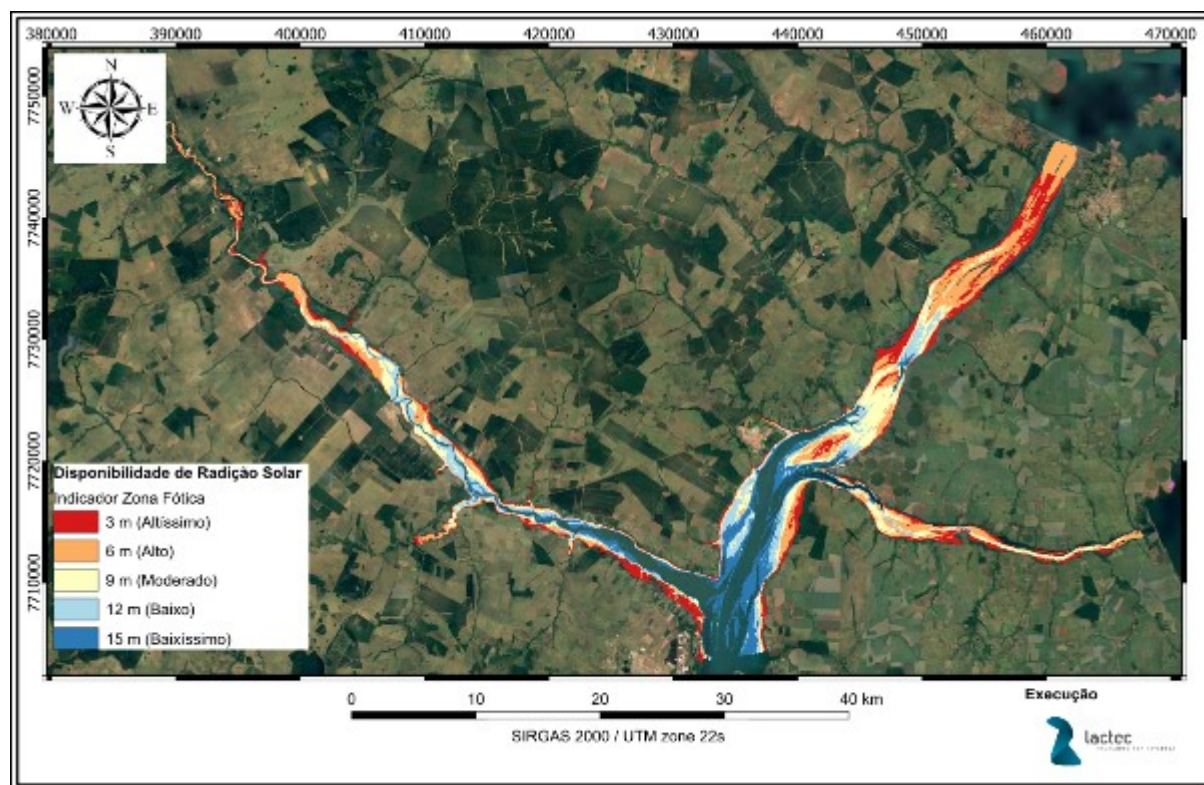


FIGURA 4 – Indicador Zona fótica

Na Figura 6 são apresentadas as tensões de cisalhamento no leito do reservatório para o vento de máxima intensidade registrada na direção NNE. Nota-se que nesta situação o vento cria tensões que em teoria podem ressuspender as frações de silte e areia, ou seja, existe um potencial de enfraquecer a fixação das macrófitas enraizadas, e deste modo causar o seu desprendimento das plantas fixadas no sedimento ou pelo menos fraturá-las.

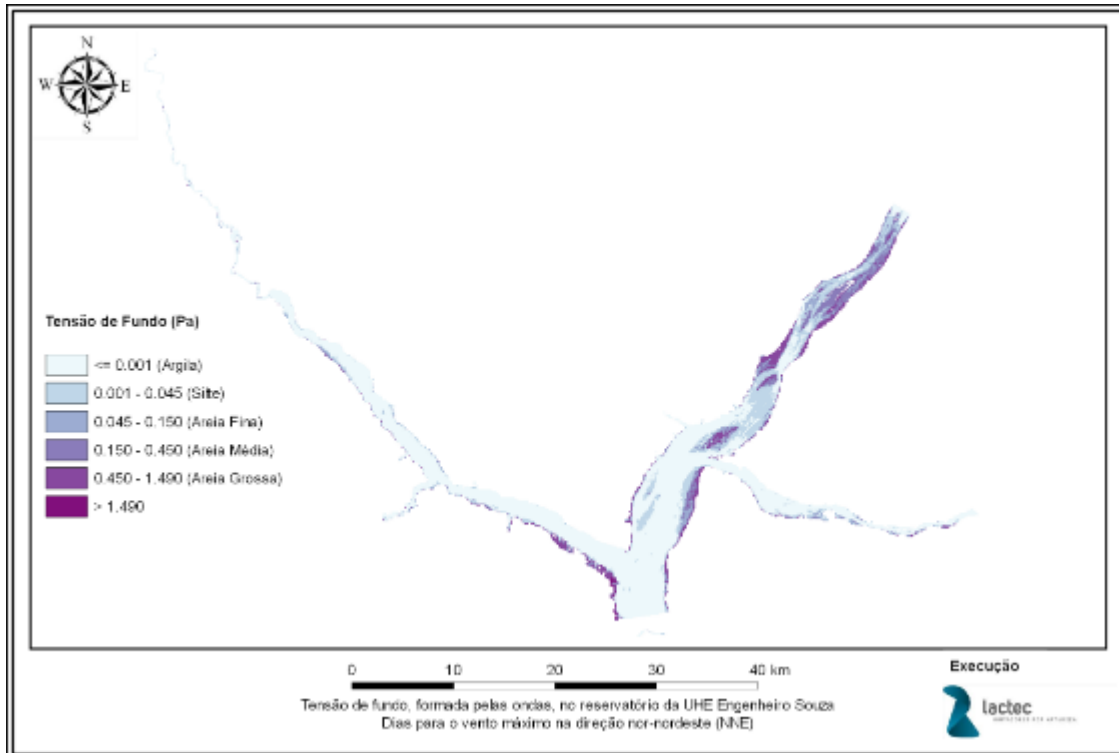


FIGURA 5 – Tensão no fundo para vento máximo vindo de Nor-Nodeste (NNE).

O tempo de chegada para uma planta aquática desde o ponto de desprendimento é apresentado na Figura 6 para um cenário de vazão média. O transporte no braço principal do rio Paraná é o que ocorre de forma mais rápida em todos os cenários. Portanto, as macrófitas que se desprendem no rio Paraná tendem a chegar rapidamente na barragem levando três dias nos pontos mais distantes da mesma. Os braços do rio Tietê e Sucuriú apresentaram os tempos de chegada mais longos e usualmente superiores a quatro dias. Esse tempo reduz bastante nos cenários de vazão máxima, sendo que no braço do rio Tietê o tempo cai para um dia e meio e no braço do rio Sucuriú para dois dias.

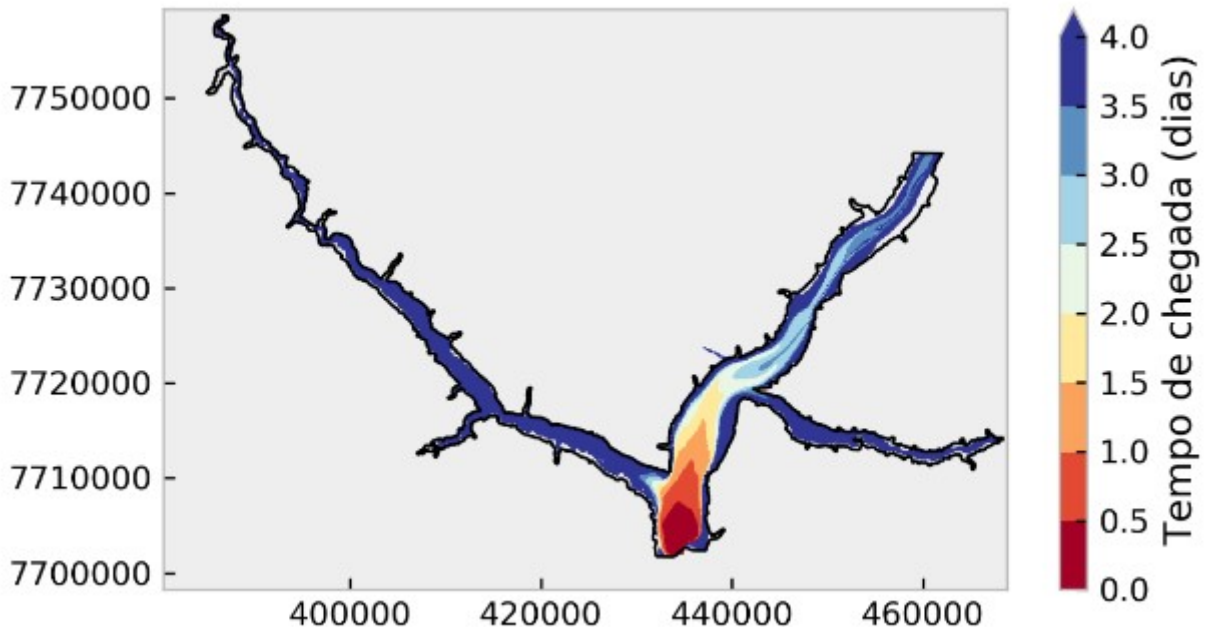


FIGURA 6 – Tempo de chegada para cenário de vazões médias.

Nota-se pelas imagens de sensoriamento remoto uma maior concentração de macrófitas no braço do rio Tietê (braço a leste) o que não ocorre no indicador de zona fótica. Portanto, um outro fator deve estar atuando nesses locais que afetam o desenvolvimento das macrófitas. As tensões de fundo no cenário de vento máximo na direção típica do reservatório mostram que o braço do rio Tietê possui tensões fracas, principalmente, ao se comparar com as demais localidades. Outro fato interessante, é que o tempo de chegada no braço do Tietê é maior, ou seja, as velocidades nessas regiões são baixas o que resulta num transporte lento das macrófitas até a barragem. Todos esses fatores físicos em conjunto, explicam em parte, porque esta região é propícia ao desenvolvimento de macrófitas.

4.0 - CONCLUSÃO

Campanhas de monitoramento de biomassa são custosas, especialmente em reservatórios grandes como o da UHE Jupia, já que necessitam a mobilização de uma equipe em campo e infraestrutura adequada para processamento das amostras. Além disso, apenas uma fração da área total do reservatório é amostrada e cada campanha pode durar alguns dias para ser concluída. O sensoriamento remoto por sua vez aumenta significativamente a quantidade de dados, tanto em questões espaciais como temporais. Os resultados obtidos ainda mostram que o sensoriamento pode fornecer estimativas com qualidade, uma vez que os dados dos levantamentos de campo corroboraram os dados de sensoriamento remoto, sendo que ambos indicaram o aumento de macrófitas entre a 1ª e 2ª campanha.

Os dados de sensoriamento remoto em conjunto com os indicadores físicos proporcionaram um entendimento maior sobre a proliferação, que se dá em maior quantidade em um dos braços do reservatório. De acordo com os indicadores físicos, o braço do rio Tietê possui condições de luminosidade e uma hidrodinâmica favorável ao desenvolvimento das macrófitas.

A integração de tecnologias de monitoramento por sensoriamento remoto e modelagem permitiu informações como: a cobertura atual de macrófitas, a identificação de locais com risco de desprendimento, e o tempo previsto de chegada na barragem. A união dessas informações permitiu um diagnóstico básico sobre a presença de macrófitas no braço do rio Tietê, mostrando o potencial dessa ferramenta para auxiliar em um manejo mais assertivo das macrófitas aquáticas. Os próximos passos de melhoria no sistema, está em introduzir indicadores



simples que reduzam a quantidade de informações para serem analisadas pelo usuário final.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) DELTARES. **Delft3D-FLOW**, User manual. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <www.deltaressystem.nl>. Acesso em: 9 ago. 2018.
- (2) HIPSEY, M. R. et al. A general lake model (GLM 2.4) for linking with high-frequency sensor data from the Global Lake Ecological Observatory Network (GLEON). **Geosci. Model Dev.**, discussion paper, 2017.
- (3) LANGE, M.; VAN SEBILLE, E. Parcels v0.9: prototyping a Lagrangian ocean analysis framework for the petascale age. **Geosci. Model Dev.**, v. 10, n. 11, p. 4175-7186, 2017.
- (4) LIRA, CRISTINA; AMORIM, ALEXANDRA; SILVA, ANA NOBRE; TABORDA, R. **SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA análise de dados de satélite**. 1. ed. Lisboa: DGRM, 2016.
- (5) POMPÊO, M. L. M. As macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais: aspectos ecológicos e propostas de monitoramento e manejo. **Perspectivas da Limnologia no Brasil**, São Luís: Gráfica e Editora União, São Luís, Brasil, p. 105-119, 1999.
- (6) POMPÊO, M.. Monitoramento e Manejo de Macrófitas Aquáticas. **Oecol. Bras.**, 12 (3): 406-424, 2008.
- (7) THOMAZ, S.M.; BINI, L.M. **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá: Editora da Universidade Estadual de Maringá, 2003.
- (8) VILLA, Paolo et al. Remote sensing of macrophyte morphological traits: implications for the management of shallow lakes. **Journal of Limnology**, 2017.
- (9) WAITHAKA, E. et al. Assessment of Macrophyte Populations in Lake Naivasha, Kenya; Using GIS and Remote Sensing. **J Environ Pollut Manage**, v. 1, p. 202, 2018.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Julio Werner Yoshioka Bernardo
Doutor em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pelo PPGERHA – UFPR.
Pesquisador no LACTEC

João Paulo Jankowski Saboia
Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pelo PPGERHA – UFPR.
Pesquisador no LACTEC

Andressa Muraro
Bacharel em Engenharia Cartográfica e Agrimensura pela UFPR
Pesquisadora no LACTEC

Henrique Reisdorfer Leite
Bacharel em Geografia pela UFPR
Bolsista de Mestrado no LACTEC



XXV SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

3922
GMA/24

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG

Bernardo Lipski
Mestre em Ciências do Solo pela UFPR
Pesquisador no LACTEC

Gheysa do Rocio Morais Pires
Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos pela Technische Universität Braunschweig
Pesquisadora no LACTEC

Murilo Radloff Barghouthi
Graduando em Engenharia Florestal pela UFPR
Bolsista no LACTEC

Luiz Fernando Brum Teixeira
Bacharel em Engenharia Industrial Elétrica pela UTFPR
Pesquisador no LACTEC

Cesar João Andreazza
Bacharel em Ciência da Computação pela UFPR
Pesquisador no LACTEC

Davi da Silva Nascimento
Bacharel em Engenharia Cartográfica pela UFPR
Pesquisador no LACTEC

Fabiano Scheer Hainosz
Bacharel em Engenharia Cartográfica pela UFPR e Mestre em Ciências Geodésicas pelo PPGCG – UFPR
Gerente de Geossoluções no LACTEC

Soraia Tamie Quicu
Bacharel em Engenharia Elétrica e de Produção pela FEI - Faculdade de Engenharia Industrial e MBA em Conhecimento Tecnologia e Inovação pela FIA - Fundação Instituto de Administração
Especialista de Pesquisa e Desenvolvimento no Grupo CTG Brasil Energia

Maria Regina Torres Boeger
Doutora em Engenharia Florestal pela UFPR
Professora UFPR e Consultora no LACTEC

Ronan Max Prochnow
Bacharel em Geografia pela UDESC e MBA em Gestão de Projetos pela Universidade Estácio de Sá
Coordenador de Meio Ambiente e Patrimônio no Grupo CTG Brasil Energia

Carlos Nascimento
Bacharel em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia e MBA pela FGV
Gerente de Pesquisa e Desenvolvimento no Grupo CTG Brasil Energia

Danielle Drago
Bacharel em Engenharia Cartográfica pela UFPR, Mestre em Engenharia Florestal pela UFPR e MBA em Gerenciamento de Projetos pela UVV



XXV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG

3922
GMA/24

Pesquisadora no LACTEC