

Integração de dados telemétricos, produtos de sensoriamento remoto e modelagem ecológica para a avaliação das emissões e do balanço de carbono em reservatórios hidrelétricos Amazônicos

Marcelo Pedroso Curtarelli ¹
Igor Ogashawara ²
Carlos Alberto Sampaio de Araújo ¹
Joaquim Antônio Dionísio Leão ¹
Enner Alcântara ³
João Antônio Lorenzetti ¹
José Luiz Stech ¹

¹ Divisão de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – DSR/INPE
Caixa Postal 515 - 12227010 – São José dos Campos - SP, Brasil
{mpedroso, carlos, loren, stech}@dsr.inpe.br ; joaquim@dpi.inpe.br

² Department of Earth Sciences, Indiana University-Purdue University Indianapolis – School
of Sciences/IUPUI
723 W. Michigan Street, SL118, 46202 - Indianapolis - IN, USA
igoroga@gmail.com.br

³ Departamento de Cartografia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita” – UNESP
Caixa Postal 467 - 19060-900 – Presidente Prudente - SP, Brasil
enner@fct.unesp.br

Abstract. In this work we presented a new integrative approach to evaluate the greenhouse gas emissions (GHG) and carbon budget in hydroelectric reservoirs located at Brazilian Amazon. This integrative approach included high frequency telemetric data collection, remote sensing-derived information and three-dimensional ecological modeling. As a case study we applied the proposed approach to assess the GHG emissions and the carbon budget at Tucuruí Reservoir - Pará State, Brazil – in two different seasons (summer and winter). Our results showed that for the two studied periods the GHG emissions presented a similar pattern with emission peaks every 3 to 7 days. The daily mean carbon dioxide (CO₂) diffusive flux was approximately 11 mg C m⁻² for the two periods analyzed; this value represents around 20 Ton C and 30 Ton C emitted to the atmosphere every day of summer and winter, respectively. At diel scale, the CO₂ diffusive flux was large during the morning in both seasons studied, coinciding with the convective cooling period. The computed carbon budget was positive during the summer (5.17×10^{12} g C accumulated) and negative during the winter (4.26×10^{10} g C released), indicating that Tucuruí reservoir can be an important terrestrial carbon sink. The methodology proposed in this study showed to be adequate to quantify the carbon emissions and budget of Amazonian hydroelectric reservoirs, facilitating comparisons between different reservoirs and allowing the construction of future scenarios.

Palavras-chave: remote Sensing, ecological models, GHG, hydroelectric reservoirs, Amazon, sensoriamento remoto, modelos ecológicos, GEE, reservatório hidrelétricos, Amazônia.

1. Introdução

Ao longo da última década, diversas pesquisas foram realizadas no Brasil com o objetivo de melhor compreender o papel dos reservatórios hidrelétricos amazônicos no ciclo global do carbono (Rosa et al., 2003; Barros et al., 2011; Fearnside; Pueyo, 2012; MME, 2014). Estes estudos tiveram como foco principal estimar as emissões de carbono, sem se preocupar em explicar completamente os processos físicos e fatores ambientais que as governam, nem como a variabilidade do clima poderá afetar as emissões de carbono destes reservatórios no futuro. Além disso, a maioria das estimativas de emissões de carbono realizadas até o presente momento são baseadas em coleta de dados pontuais, tanto no espaço como no tempo, o que as

tornam pouco confiáveis e impossibilita a comparação entre resultados obtidos em diferentes reservatórios.

Neste contexto, o Grupo de Pesquisa Hidrosfera (GPH), ligado a Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) participa de projetos relacionados à qualidade da água e a contabilização do balanço de carbono em reservatórios hidrelétricos brasileiros a mais de uma década. Ao longo deste período, o GPH sempre buscou novas tecnologias e ferramentas que possibilitassem o aprimoramento dos estudos em reservatórios hidrelétricos, seja utilizando tecnologia de coleta de dados por telemetria, seja utilizando dados coletados por sensores remotos (Stech et al., 2006; Alcântara et al., 2010; Alcântara et al. 2013; Curtarelli et al., 2014). Neste estudo, é apresentada uma abordagem inovadora para o estudo do balanço e das emissões de carbono em reservatórios brasileiros, integrando dados telemétricos, sensoriamento remoto e coletados *in situ* e modelagem numérica tridimensional. Tal estudo é pioneiro no Brasil e tem como objetivo apresentar as principais vantagens e limitações no emprego desta abordagem por meio do estudo de caso para do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Tucuruí, estado do Pará.

2. Metodologia

2.1 Área de estudo

A área de estudo escolhida para este trabalho compreende o reservatório da UHE de Tucuruí, localizada entre as coordenadas 3,755° S, 49,528° O e 5,007° S, 49,587° O, no estado do Pará, bioma Amazônia (Fig. 1a,b). O reservatório está localizado na Bacia Hidrográfica do Tocantins Araguaia (BHTA), que abrange cerca de 970.000 km² (11 % do território nacional). O principal afluente é rio Tocantins, que tem suas nascentes na região norte do Estado de Goiás e é responsável por uma descarga média de 11.000 m³ s⁻¹. Além disso, pequenos tributários contribuem em menor escala com a vazão afluente ao reservatório como o rio Pucuruí, rio Caraipé, rio da Lontra, rio Bacurí, rio Jacundá e rio do Repartimento (ver Figura 1c). O pico da vazão ocorre nos meses de março e abril, quando a descarga do rio Tocantins pode superar os 20.000 m³ s⁻¹ (SNIRH, 2013).

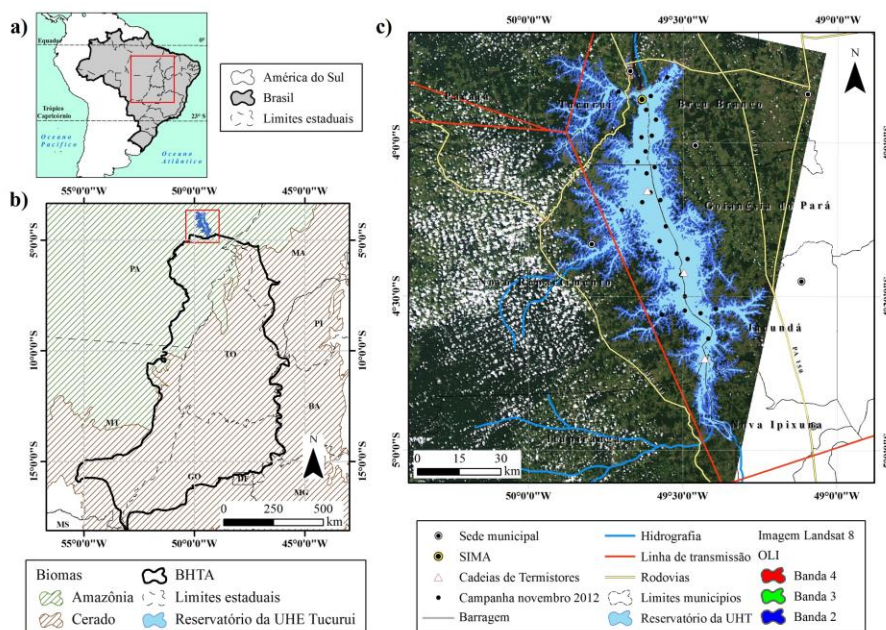


Figura 1 – Localização do reservatório da UHT na América do Sul (a), sua posição em relação a Bacia Hidrográfica do Tocantins-Araguaia (b) e aos municípios do Sudeste Paraense (c).

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima na região de Tucuruí pode ser classificado como clima de monção (Am) (Peel, 2007). A temperatura média mensal do ar varia entre 28 °C e 24,5 °C ao longo do ano, com média de 26,5 °C. A precipitação se distribui de forma irregular ao longo do ano, com dois períodos bem definidos. O maior volume de chuva é observado entre os meses novembro e abril, com precipitação mensal podendo superar os 400 mm mês^{-1} . Este período corresponde a atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre a região de Tucuruí. O período seco vai de junho a outubro, quando a precipitação é em média inferior a 35 mm mês^{-1} . O total de precipitação excede os 2000 mm ano^{-1} . Do ponto de vista operacional da UHE Tucuruí são diferenciados quatro estágios: enchente, cheia, vazante e seca (Fig. 2).

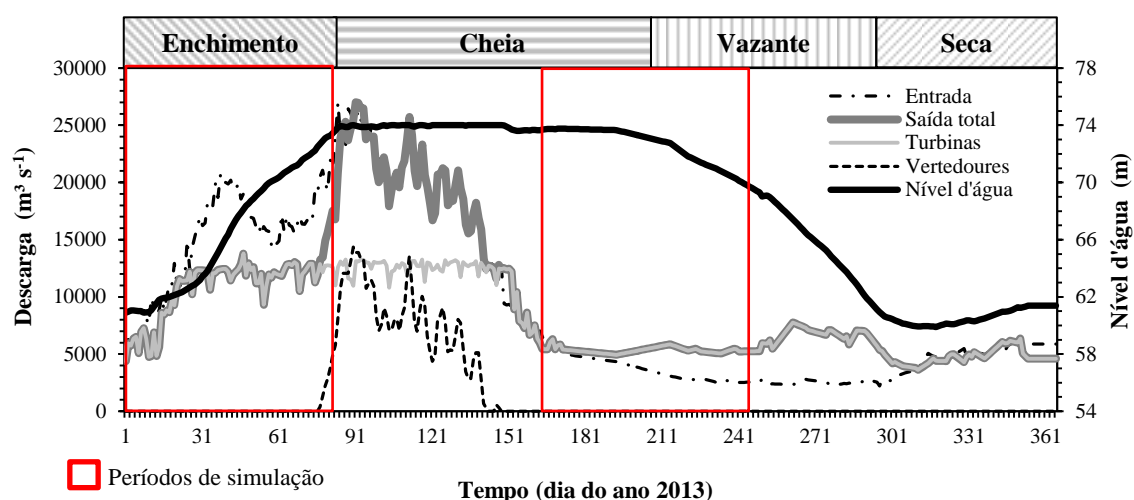


Figura 2. Ciclo anual de operação do reservatório da UHE Tucuruí. Os dados apresentados são referentes ao ano de 2013.

2.2 Dados telemétricos

Os dados telemétricos utilizados neste trabalho foram coletados por um Sistema Integrado de Monitoramento Ambiental (SIMA), fundado no reservatório da UHE Tucuruí (ver Fig. 1 para localização). O SIMA é um conjunto de *hardware* e *software* para a coleta de dados, climatológicos e limnológicos com alta frequência temporal, e monitoramento em tempo quase real de sistemas aquáticos (Stech et al., 2006; Alcântara et al., 2013). No reservatório de Tucuruí, o SIMA operou entre novembro de 2012 e janeiro de 2014. As variáveis meteorológicas monitoradas pelo SIMA em Tucuruí foram: direção do vento, intensidade do vento, pressão atmosférica, radiação incidente, umidade relativa e temperatura do ar, concentração de gás carbônico (CO_2) atmosférico em dois níveis diferentes (próximo a superfície da água e 3 m acima da superfície). Informações adicionais sobre os sensores utilizados e especificações técnicas do SIMA podem ser obtidas em Stech et al. (2006) e Alcântara et al. (2013). Os dados coletados pelo SIMA estão disponíveis no portal <www.dsr.inpe.br/hidrosfera/sima/login.php>.

2.3 Produtos de sensoriamento remoto

Os dados e produtos de sensoriamento utilizados neste trabalho (Tabela 1) foram adquiridos gratuitamente utilizando os portais de acesso aos dados da Agência Espacial Americana (NASA, <http://reverb.echo.nasa.gov/>) e do Serviço Geológico Americano (USGS,

<http://glovis.usgs.gov/>). As variáveis de interesse foram extraídas destes conjuntos de dados utilizando os aplicativos MATLAB®, ENVI® e ArcGIS®.

Tabela 1. Resumo dos dados e produtos de sensoriamento remoto utilizados neste estudo.

Produto	Variável	Tipo	Frequência	Utilidade na simulação
TRMM 3B42	Precipitação	Série temporal	Diária	Simulação do balanço hídrico do reservatório
Imagem Landsat-5/TM	Máscara d'água	Informação pontual	-	Definição e discretização do domínio de simulação
M*D 35 L2	Fração cobertura de nuvens	Série temporal	Sub diária*	Simulação da radiação de ondas longas incidente
M*D11 A1	Temperatura de superfície da água	Série temporal	Sub diária**	Validação: comparação com a temperatura simulada pelo modelo

* Adquiridos 4 vezes ao dia (01:30 h; 10:30 h; 13:30 h; 22:30 h); ** Sujeito a falhas devido a presença de nuvens.

2.4 Modelagem ecológica

O modelo ecológico utilizado neste trabalho foi o modelo CAEDYM (*Computational Aquatic Ecosystem Dynamics Model*, Hipsey et al., 2006), acoplado ao modelo hidrodinâmico tridimensional ELCOM (*Estuary and Lake Computer Model*, Hodges et al., 2000), ambos desenvolvidos pelo *Centre for Water Research* (CWR) da *University of Western Australia* (UWA). Este modelo foi testado e validado em diversas regiões do mundo, se mostrando adequado para o estudo de ciclos biogeoquímicos em reservatórios, além de outras aplicações descritas na literatura.

2.4.1 Exemplo de simulação no reservatório da UHE Tucuruí

Neste trabalho são apresentados os resultados preliminares obtidos para as simulações realizadas para o período de verão (fase de enchimento do reservatório; ver Fig. 2), entre os dias 21 de dezembro de 2012 e 21 de março de 2013, e para o período de inverno (final da fase de cheia e início da vazante; ver Fig. 2), entre os dias 21 de junho e 21 de setembro de 2013. Neste primeiro estudo, o modelo conceitual do ciclo do carbono simulado em Tucuruí compreendeu tanto as frações orgânicas como as inorgânicas de carbono, como também as particuladas e dissolvidas (Carbono Orgânico Dissolvido – COD; Carbono Orgânico Particulado – COP; Carbono Inorgânico Dissolvido – CID; e Carbono Inorgânico Particulado – CIP).

Levando em consideração os estudos de Tavares (2011), apenas um grupo de fitoplâncton foi considerado nas simulações, sendo a cianobactéria (*Microcystis Auroginosa*). Os processos de sedimentação e ressuspensão também foram considerados durante as simulações. Com relação aos fluxos atmosféricos de carbono, apenas o fluxo difusivo de CO₂ foi considerados ao longo destas primeiras duas simulações.

O modelo ELCOM-CAEDYM foi parametrizado utilizando dados coletados no próprio reservatório ao longo do Projeto Emissões de Gases de Efeito Estufa em Reservatórios de Centrais Hidrelétricas, “BALCAR” (acessados em: <http://www.dsr.inpe.br/hidrosfera/balcar/>) e dados disponíveis na literatura. Além disso, os dados coletados ao longo do projeto BALCAR foram utilizados como condições iniciais e forçantes do modelo, juntamente com

os dados coletados pelo SIMA e os dados obtidos por sensoriamento remoto. Após a simulação os resultados obtidos pelo modelo ELCOM-CAEDYM foram comparados com os resultados obtidos ao longo do projeto BALCAR.

3. Resultados e Discussão

3.1 Emissões de carbono por meio do fluxo difusivo de CO₂

As emissões de carbono por meio do fluxo difusivo de CO₂ no reservatório da UHE Tucuruí apresentaram um padrão semelhante para os dois períodos simulados (Fig. 3), sendo observados picos com períodos entre 5 e 7 dias. Durante o período de verão o fluxo diário de carbono variou entre -70,3 e 3,9 mg C m⁻² com média de -11,3 mg C m⁻². Durante o período de inverno o fluxo diário variou entre -31,6 e -0,88 mg C m⁻² com média de -11,6 mg C m⁻². Vale ressaltar que valores positivos de fluxo (i.e., absorção de carbono atmosférico pelo reservatório) foram observados apenas durante o período de verão. Tal fato pode estar associado à ocorrência de floração de algas durante o período de verão, que são responsáveis por remover grande quantidade de CO₂ da atmosfera para realização da fotossíntese. Essa inversão nos fluxos de carbono também foi observada por Pacheco et al. (2014) no reservatório da UHE Funil, RJ, durante o período de verão, quando há a ocorrência de floração de algas neste reservatório.

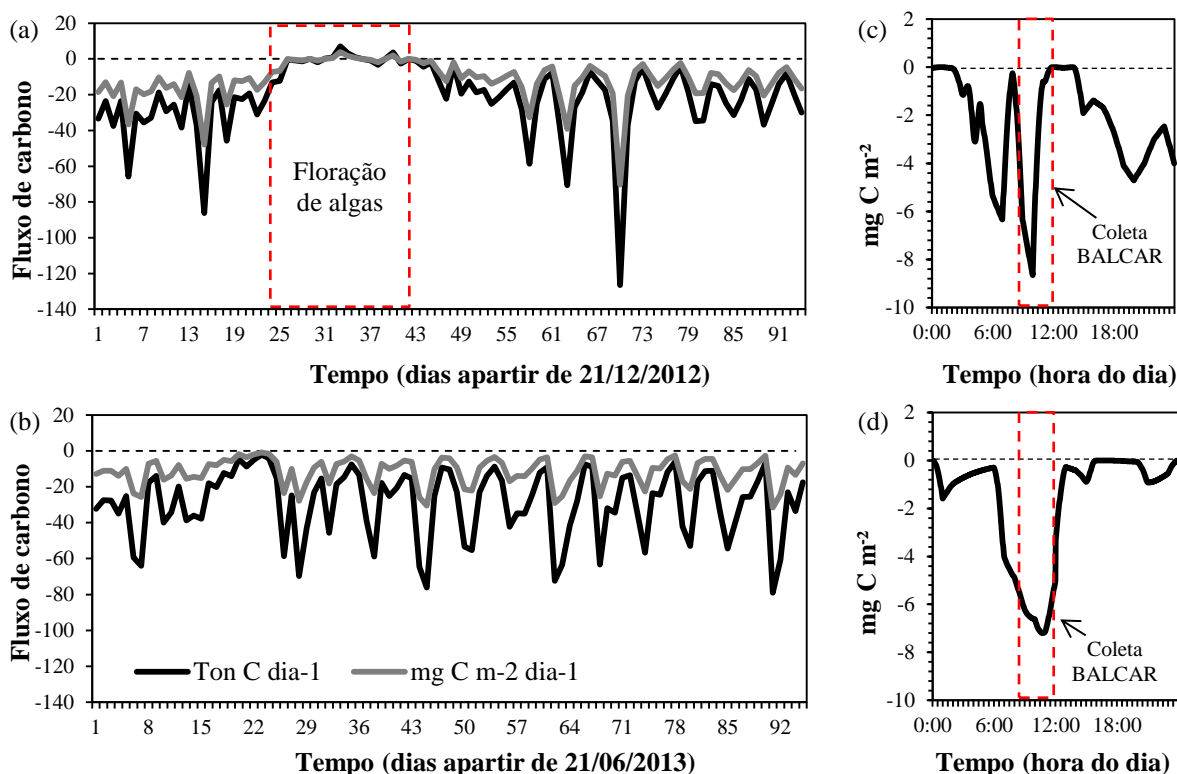


Figura 3. Emissões de carbono por meio do fluxo difusivo de CO₂ (valores médios para toda superfície do reservatório) simuladas pelo modelo ELCOM-CAEDYM para o período de verão (a), período de inverno (b), variação nictemeral dos fluxos de CO₂ para o período de verão (c) e inverno (d).

Levando em consideração a variação da área superficial do reservatório entre os períodos de verão (~1800 km²) e inverno (~2500 km²), a emissão de CO₂ por meio do fluxo difusivo durante o período de inverno (~30 Ton C dia⁻¹) foi cerca de 1,5 vezes superior do que durante o período do verão (~20 Ton C dia⁻¹). Esta variação sazonal também foi observada nos dados

coletados *in situ* ao longo do projeto BALCAR, com emissões de carbono devido ao fluxo difusivo de CO₂ variando entre 4000 Ton C dia⁻¹ (inverno) e 500 Ton C dia⁻¹ (verão).

A grande diferença observada entre os valores simulados neste trabalho e aqueles estimados utilizando os dados coletados ao longo do projeto BALCAR podem ser explicadas pelos seguintes motivos: (1) os dados coletados durante as campanhas de campo do projeto BALCAR foram realizadas em 1 ou 2 dias específicos do período de verão e inverno, que podem não ser representativos para toda estação; (2) os dados coletados durante as campanhas de campo do projeto BALCAR utilizados na nossa comparação foram coletados em apenas 7 pontos (principalmente na zona litoral), podendo não representar de maneira adequada a variação espacial das emissões; e (3) os dados coletados durante as campanhas de campo do projeto BALCAR foram realizada de maneira geral entre as 09:00 h e 14:00 h, quando os fluxos de CO₂ tendem a ser maiores (ver Fig. 3c,d).

3.1.1 Fatores ambientais que controlam as emissões de carbono em Tucuruí

Analisando os resultados das simulações em uma escala nictemeral (Fig. 3c,d), o fluxo difusivo de CO₂ apresentou uma grande variação em ambos os períodos analisados, oscilando entre aproximadamente -8,0 (entre 09:00 e 10:00h) e 0,01 mg C m⁻² (entre 14:00 e 16:00 h). Esta variação pode estar associada à intensificação de processos convectivos e à dinâmica da camada de mistura superficial ao longo do dia. Recentemente Curtarelli et al. (dados não publicados) mostraram que a espessura da camada de mistura superficial do reservatório de Tucuruí varia entre 0,2 m e 5 m ao longo do dia, sendo a profundidade máxima geralmente observada entre 08:00 e 10:00 h, horário que coincide com o pico de emissão de CO₂.

Analisando os resultados das simulações em escalas de tempo maiores, os fluxos difusivos de CO₂ apresentaram uma oscilação da ordem de alguns dias até uma semana em ambos os períodos analisados (Fig. 3a,b). Esta variação pode estar associada a distúrbios atmosféricos que ocorrem sobre a região Amazônica, como a propagação de ondas de leste e ocorrência de sistemas convectivos de mesoescala (Coutinho e Fisch, 2007); tais fenômenos atmosféricos possuem a mesma frequência observada nos fluxos de CO₂. Os resultados obtidos por Curtarelli et al. (dados não publicados) apontam que eventos convectivos de mesoescala são capazes de intensificar o entranhamento convectivo e alterar a dinâmica da camada de mistura superficial no reservatório de Tucuruí; geralmente nos dias em que estes eventos ocorrem a velocidade de entranhamento convectivo e a profundidade da camada de mistura são aproximadamente 25% maiores do que nos dias sem a ocorrência destes eventos.

3.2 Balanço de carbono em Tucuruí

A Tabela 2 apresenta o balanço de carbono no reservatório de Tucuruí para os dois períodos analisados. Neste balanço foram consideradas como entrada apenas as frações de carbono drenadas pelo Rio Tocantins para dentro do reservatório; como saídas foram consideradas as frações de carbono transportadas para jusante e os fluxos difusivos na interface. Não foram considerados em nossos cálculos os fluxos difusivos de metano (CH₄), os fluxos ebulitivos (CO₂ e CH₄), as emissões nas turbinas (*outgassing*) e as emissões de jusante.

Em ambos os períodos estudados a fração de CIP foi a que mais contribuiu como entrada de carbono (~66% no verão e 39% no inverno), sendo grande parte desta fração retida no reservatório. Nossos cálculos apontam que durante o verão o balanço de carbono no reservatório de Tucuruí é positivo (+5,1677 Tg C), i.e., as entradas excederam as saídas de carbono no sistema. Já para o período de inverno nossos cálculos indicam um balanço negativo (-0,0426 Tg C), entretanto com magnitude duas ordens de grandeza inferior ao balanço de verão. Vale ressaltar que os fluxos atmosféricos de CO₂ (CID atm.) representaram

menos do que 1% das saídas de carbono no sistema em ambos os períodos analisados. Estes resultados indicam que o reservatório de Tucuruí pode ter um importante papel como sumidouro de carbono terrestre, proveniente de sua bacia de contribuição.

Tabela 2. Balanço de carbono no reservatório da UHE Tucuruí obtido para os dois períodos de simulação (verão e inverno 2013).

Entrada (+)	Verão		Inverno	
	Tg C	%	Tg C	%
COD	1,8834	30,6	0,1169	24,5
COP	0,0896	1,5	0,0216	4,5
CID	0,1355	2,2	0,1518	31,8
CIP	4,0429	65,7	0,1868	39,2
Entrada total de carbono	6,1514	100	0,4770	100
Saída (-)	Tg C	%	Tg C	%
COD	0,2892	29,4	0,1263	24,3
COP	0,0574	5,8	0,0040	0,8
CID	0,4067	41,3	0,3007	57,9
CID atm.	0,0019	0,2	0,0027	0,5
CIP	0,2284	23,2	0,0860	16,5
Saída total de carbono	0,9837	100	0,5141	100
Balanço	+ 5,1677		-0,0426	

3.3. Vantagens e limitações da abordagem proposta

A abordagem proposta neste estudo possui como principais vantagens a possibilidade de investigar a variabilidade temporal e espacial dos fluxos e do balanço de carbono nos reservatórios hidrelétricos amazônicos, bem como realizar experimentos para avaliar os impactos de fenômenos atmosféricos e da variabilidade do clima no futuro sobre o ciclo do carbono. Além disso, a metodologia utilizada permite a comparação de maneira mais apropriada entre as emissões de carbono por diferentes reservatórios. Já a principal limitação da abordagem proposta é a grande quantidade de dados necessária para a parametrização e utilizados como entrada nos modelos ecológicos, o que muitas vezes inviabiliza a sua utilização. Entretanto, cada vez mais as informações derivadas a partir de dados de sensoriamento remoto contribuem para superar esta limitação.

4. Conclusões

Este trabalho teve como principal objetivo apresentar uma nova abordagem para o estudo do balanço e das emissões de carbono em reservatórios hidrelétricos amazônicos. As principais conclusões são:

1. A metodologia proposta neste estudo se mostrou adequada para a quantificação das emissões e do balanço do carbono em reservatórios hidrelétricos amazônicos, facilitando a comparação entre diferentes reservatórios e possibilitando a construção de cenários.
2. Os dados e produtos de sensoriamento remoto foram capazes de fornecer informações cruciais para fins de modelagem ecológica, viabilizando a utilização de modelos complexos que exigem grandes quantidades de parâmetros, dados de entrada e validação.
3. Como recomendação para estudos futuros, outros dados de sensoriamento remoto devem ser testados para parametrizar, forçar e validar tais modelos. Emissões de carbono derivadas a partir das missões Gosat, OCO-2 e CarbonSat podem ser utilizadas para validar o resultado das simulações.

Agradecimentos

M.P.C agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela cessão da bolsa de doutorado (processo 161233/2013-9). Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) para Mudanças Climáticas por viabilizar o recurso para compra do modelo ELCOM-CAEDYM, o *Centre for Water Research* (CWR) pela disponibilização do modelo e as Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. (ELETRONORTE, processo 4500075234) e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, processo 8000003629) pelo financiamento das campanhas de campo e do fundeio do SIMA em Tucuruí.

Referências bibliográficas

- Alcântara, H.; Curtarelli, M.; Ogashawara, I.; Stech, J.; Souza, A.; A system for environmental monitoring of hydroelectric reservoirs in Brazil. **Revista Ambiente & Agua**, v. 8, n. 1, p. 6–17, 2013.
- Alcântara, E.H.; Stech, J.L.; Lorenzetti, J.A.; Bonnet, M.P.; Casamitjana, X.; Assireu, A.T.; Novo, E.M.L.M. Remote sensing of water surface temperature and heat flux over a tropical hydroelectric reservoir. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, n. 11, p. 2651-2665, 2010.
- Barros, N.; Cole, J.J.; Tranvik, L.J.; Prairie, Y.T.; Bastviken, D.; Hulszar, V.L.M.; del Giorgio, P.; Roland, F. Carbon emission from hydroelectric reservoirs linked to reservoir age and latitude. **Nature Geoscience**, v. 4, p. 593-596, 2011.
- Coutinho, E.C.; Fisch, G. Distúrbios ondulatórios de leste (dols) na região do centro de lançamento de Alcântara-MA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 2, p. 193-203, 2007.
- Curtarelli, M.P.; Ogashawara, I.; Alcântara, E.; Stech, J. Coupling remote sensing bio-optical and three-dimensional hydrodynamic modeling to study the phytoplankton dynamics in a tropical hydroelectric reservoir. **Remote Sensing of Environment**, in press, p. 1-14, 2014.
- Fearnside, P.M.; Pueyo, S. Greenhouse-gas emissions from tropical dams. **Nature Climate Change**, v. 2, p. 382-384, 2012.
- Hipsey, M.R.; Romero, J.R.; Antenucci, J.P.; Imberger, J. The computational aquatic ecosystem dynamics model (CAEDYM): a versatile water quality model for coupling with hydrodynamic drivers. In: 7th International Conference on Hydroinformatics, 2006, Nice. **Anais...** Chennai: Research Publishing Services, 2006. Artigos, p. 526-533. CD-ROM, ISBN 81-903170-2-4.
- Hodges, B.R.; Imberger, J.; Saggio, A.; Winters, K.B. Modeling basin-scale internal waves in a stratified lake. **Limnology and Oceanography**, v. 45, n. 7, p. 1603–1620, 2000.
- Ministério de Minas e Energia (MME). **Emissões de gases de efeito estufa em reservatórios de centrais hidrelétricas**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014. 416 p.
- Pacheco, F.S.; Roland, F.; Downing, J.A. Eutrophication reverses whole-lake carbon budgets. **Inland Waters**, v. 4, n. 1, 41-48, 2014.
- Peel, M.C.; Finlayson, B.L.; McMahon, T.A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, **Hydrology Earth System Science**, v. 11, p. 1633–1644, 2007.
- Rosa, L.P.; dos Santos, M.A.; Matvienko, B.; Sikar, E.; Lourenço, R.S.M.; Menezes, C.F. Biogenic gas production from major Amazon reservoirs, Brazil. **Hydrological Processes**, v. 17, n. 7, p. 1443-1450, 2003.
- Stech, J.L.; Lima, I.B.T.; Novo, E.M.L.M.; Silva, C.M.; Assireu, A.T.; Lorenzetti, J.A.; Carvalho, J.C.; Barbosa, C.C.F.; Rosa, R.R. Telemetric monitoring system for meteorological and limnological data acquisition. **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, v. 29, p. 1747–1750, 2006.
- Tavares, M.D.R.M. **Estrutura da comunidade microfitoplanctônica da área de influência da UHE de Tucuruí-Pará**. 2011 55 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aquática e Pesca) – Universidade Federal do Pará, Belém. 2011.