

## 附录 3 水淹地的 CH<sub>4</sub> 排放：未来方法学建立的基础

本附录为未来方法学的建立提供基础，而非完整指南。

水淹地可释放大量 CH<sub>4</sub>，这取决于它的多种特性，如：蓄水的时间和深度、淹水前的土地利用、气候，以及管理做法。与 CO<sub>2</sub> 排放相比，CH<sub>4</sub> 排在空间上和时间上变化很大。当前对水淹地中 CH<sub>4</sub> 流量的测量，不足以全面支持建立准确的缺省排放因子。（特别是气泡排放和脱气排放）此外，有大量蓄水表面积覆盖的国家（如，印度、中国、俄罗斯），其数据无法获得。

测量研究表明，淹水后的时间长短并不会对源自寒温带和温带水库的 CH<sub>4</sub> 流量产生重要影响。热带地区的情况则相反，淹水后的时间长短可能会对扩散、气泡 CH<sub>4</sub> 和脱气排放产生重要影响。这种趋势仅见于法属圭亚那的小梭（Petit-Saut）水库（Abril 等，2005）；然而，一些老的热带水库显示了大量气泡排放（Duchemin 等，2000；Stallard 和 Keller，1994）。依据小梭（Petit-Saut）水库建立的模式相当准确地预测了象牙海岸水库的 CH<sub>4</sub> 溶解浓度（Galy-Lacaux 等，1998 年）。

迹象表明，在水淹地，甲烷通常仅在淹水土壤中产生；此气体产生可持续维持在水气界面测量的流量。（Houel，2003；Duchemin，2000；Abril 等，2005）。

### 3a.1 仍为水淹地的水淹地

本节给出了关于如何估算来自仍为水淹地的水淹地的甲烷排放的信息。此信息取自现有文献，旨在帮助有意建立此来源甲烷排放初步估值的国家。水淹地中潜在大量 CH<sub>4</sub> 排放的各国，试图报告这些排放时应考虑建立国家特定排放因子，以降低总体不确定性。建立这种因子的指南见附录 2 框 2a.1。

#### 3A.1.1 源自仍为水淹地的水淹地的甲烷排放

##### 方法学问题

淹水后甲烷排放可通过下述途径产生：

- 扩散排放，产生于水-气界面的分子扩散。
- 气泡排放，即沉积物通过水柱中水泡产生的气体排放；这是 CH<sub>4</sub> 排放的重要途径，特别是在温带和热带地区。
- 脱气排放，即因静水压力突然变化引起的排放，以及水库的水流经涡轮机或泄洪道后增加的气/水交换作用表面所引起的排放。（Hélie，2004；Soumis 等，2004；和 Delmas 等，2005）；这是源自新的热带水库的 CH<sub>4</sub> 排放的非常重要的途径。

方法 1 仅涉及扩散排放。方法 2 包括估算甲烷气泡排放的一项，可行时分别考虑无冰期和冰覆盖时期。方法 3 系指基于测量的任何详细方法，包括：源自水淹地的所有相关甲烷的流量估算，亦包括脱气排放，以及考虑水库整个寿命期的深度，地理位置和水温。方法 3 在本章中无深入论述，但是各国可参考附录 2 的框 2a.1 “推导国家特定排放因子”，作为实施方法 3 的资源。表 3a.1 概述了三个层级方法以及甲烷排放途径。

表 3A.1 方法和排放的概述	
	CH <sub>4</sub>
方法 1	• 扩散排放
方法 2	• 扩散排放 • 气泡排放
方法 3	• 所有排放

下节描述了估算甲烷排放的方法 1 和方法 2。

### 方法的选择

源自水淹地的甲烷可通过气泡，扩散和脱气释放来排放。图 3a.1 的决策树指导清单编制者实施为水淹地中的甲烷排放选择适合方法的过程。清单编制者执行的方法选择以及时间和空间分类水平，将取决于活动数据和排放因子的可获性，以及水库作为国家温室气体排放贡献者的重要性。国家特定科学证明和数据始终优先于方法 1 缺省数据。

### 方法 1

估算水淹地中的甲烷排放的方法 1 仅涉及无冰期的扩散排放。冰覆盖期的排放假设为零。公式 3a.1 可以与表 3a.2 给出的测量排放以及国家特定的水淹地总面积结合使用。

<p><b>公式 3A.1</b> <b>源自水淹地的 CH<sub>4</sub> 排放（方法 1）</b></p> $CH_4 \text{ Emission}_{\text{WWflood}} = P \cdot E(CH_4)_{\text{diff}} \cdot A_{\text{flood\_total\_surface}} \cdot 10^{-6}$
---

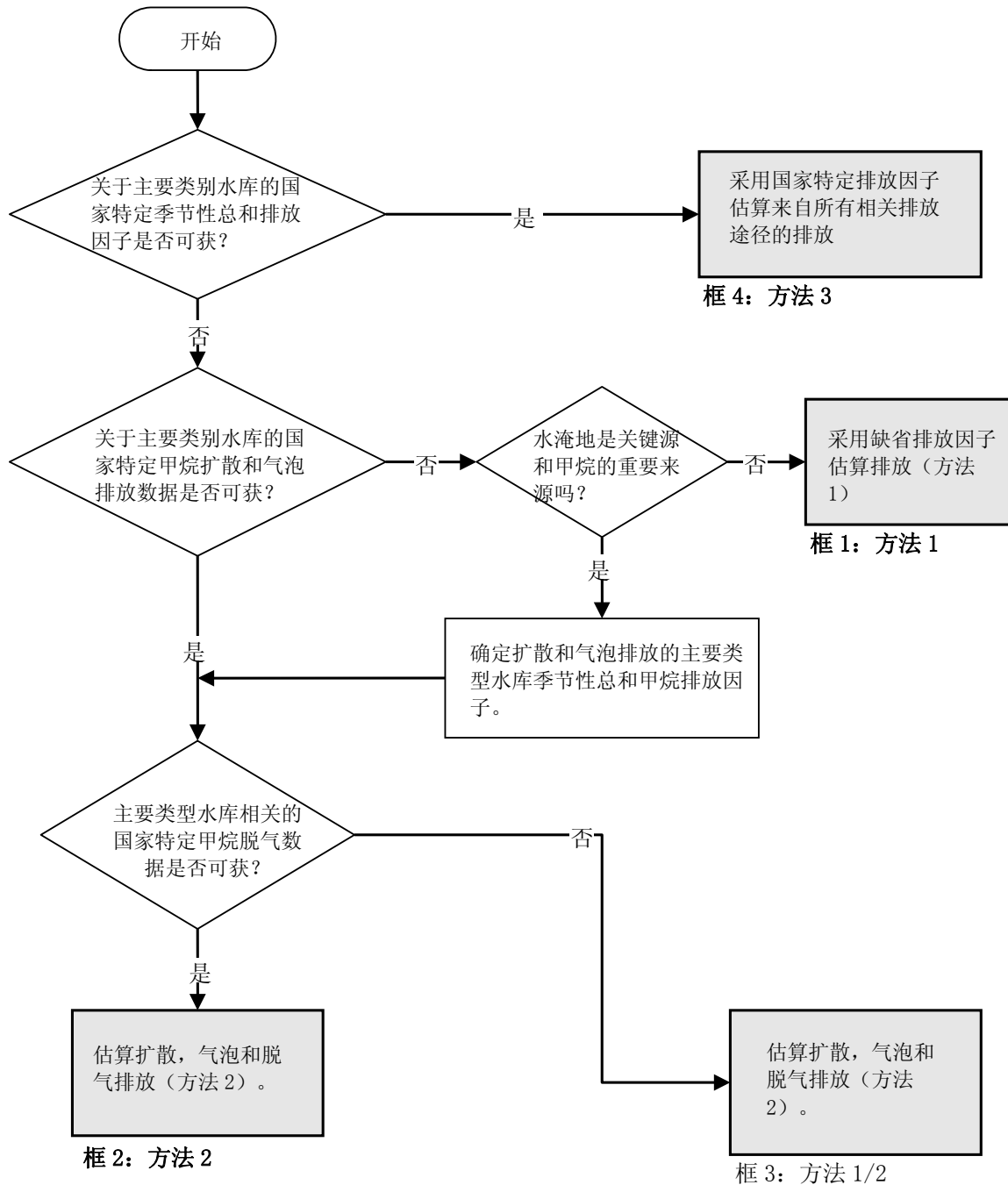
其中：

CH<sub>4</sub> 排放<sub>WW 水淹</sub> = 水淹地中的总甲烷排放，Gg CH<sub>4</sub> /年

P = 无冰期，天数/年（对于年度清单估算通常是 365 天，或在有冰覆盖期的国家内少于 365 天）

E(CH<sub>4</sub>)<sub>液相扩散</sub> = 平均日扩散排放，kg CH<sub>4</sub>/公顷/日

A<sub>淹水总面积</sub> = 总淹水表面积，包括水淹地、湖泊和江河，公顷

图 3a.1 源于仍为水淹地的水淹地中 CH<sub>4</sub> 排放的季度总合排放因子决策树

注:

1: 有关关键类别和决策树用途的讨论, 请参见第 1 卷第 4 章“方法选择和关键类别识别”(参见关于有限资源的 4.1.2 节)。

2: 如果亚类排放在总类别清除排放中占 25-30%, 那么此亚类很重要。

## 方法 2

用于 CH<sub>4</sub> 排放的方法 2 需要扩散和气泡排放的国家特定排放因子，如果适用，考虑无冰期与冰覆盖期扩散和气泡排放的不同速率。水淹地面积也可按照气候区域，或附录 2 中框 2a.1 列出的任何相关参数进行分类。公式 3a.2 描述了这个方法。

**公式 3A.2**  
**源自水淹地的 CH<sub>4</sub> 排放（方法 2）**

$$CH_4 \text{ 排放}_{\text{WWflood}} = \left[ \begin{array}{l} (P_f \cdot E_f(CH_4)_{\text{diff}} \cdot A_{\text{flood, surface}}) + \\ (P_f \cdot E_f(CH_4)_{\text{bubble}} \cdot A_{\text{flood, surface}}) + \\ P_i \cdot (E_i(CH_4)_{\text{diff}} + E_i(CH_4)_{\text{bubble}}) \cdot A_{\text{flood, surface}} \end{array} \right]$$

其中：

CH<sub>4</sub> 排放<sub>ww 水淹</sub> = 每年水淹地中的总甲烷排放，Gg CH<sub>4</sub>/年

P<sub>f</sub> = 无冰期，天数/年

P<sub>i</sub> = 冰覆盖期，天数/年

E<sub>f</sub>(CH<sub>4</sub>)<sub>液相扩散</sub> = 无冰期源自水气界面的平均日扩散排放，kg CH<sub>4</sub>/公顷/日

E<sub>f</sub>(CH<sub>4</sub>)<sub>液相扩散</sub> = 无冰期源自水气界面的平均日气泡排放，kg CH<sub>4</sub>/公顷/日

E<sub>i</sub>(CH<sub>4</sub>)<sub>液相扩散</sub> = 与冰覆盖期相关的扩散排放，kg CH<sub>4</sub>/公顷/日

E<sub>i</sub>(CH<sub>4</sub>)<sub>液相扩散</sub> = 与冰覆盖期相关的气泡排放，kg CH<sub>4</sub>/公顷/日

A<sub>淹水, 表面</sub> = 总淹水表面积，包括水淹地、湖泊和江河，公顷

## 选择排放因子

## 方法 1

方法 1 的关键缺省值为通过扩散途径的 CH<sub>4</sub> 排放因子。表 3a.2 给出了多种气候带的测量排放值。据可获研究尽最大限度，这些测量的排放总合了源自水库排放中的空间（水库内和区域差异）和时间变化（干季/雨季以及其它季节，年度间变化）。缺省排放因子应仅用于无冰期的方法 1。在完全冰覆盖期，CH<sub>4</sub> 排放假设为零。当缺省数据无法获取，各国应采用最接近的缺省排放因子值（最相似气候区域的排放）。

## 方法 2

方法 2 中，国家特定排放因子应尽可能用于替代缺省因子。也需要对冬季和 CH<sub>4</sub> 气泡排放的进行更多估算，这将需要建立国家特定排放因子。预计，将采用混合的缺省值和国家特定排放因子，当后者没有覆盖全部各类环境和管理条件时。建立国家特定排放因子的相关讨论，见附录 2 中的框 2a.1。应明确记录国家特定因子的推导，并在同行审阅的文献中发表。

## 选择活动数据

估算水淹地中的排放可能需要几种不同类别的活动数据，这取决于所执行的方法以及在一国领域内空间和时间变量的已知来源。这些活动数据类别相当于 CO<sub>2</sub> 排放所需的相同数据，如 7.3.2 节所述。

## 水淹地面积

所有方法均需要水淹地面积的国家特定数据，以估算扩散和气泡排放。或者，各国可从下列来源获取淹水土地面积估值：排水流域覆盖分析，国家大坝数据库，国际大坝委员会 ICOLD (1998)，或世界水坝委员会报告 (WCD, 2000)。因为淹水土地面积可迅速变化，各国应采用更新和最新的数据。方法 2 和方法 3 最好基于国家数据库，来跟踪蓄水表面积。

此数据库亦应包括其他参数，如：蓄水深度，淹水年份，蓄水位置（见附录 2 框 2a.1）。

### **无冰盖期/冰覆盖期**

在方法 2 和方法 3 中，需要水库的无冰盖期和冰覆盖期来估算 CH<sub>4</sub> 排放。这些数据可从国家气象服务部门获取。

### **流出/泄洪量**

在方法 3 中，需要水淹地的流出和泄洪量以估算甲烷的脱气排放。

### **大坝上游和下游的甲烷浓度**

在方法 3 中，将需要大坝上游和下游的甲烷浓度，以估算脱气排放。如何测量这些数据的相关信息可从附录 2 框 2a.1 引述的参考资料中获取。

表 3A.2  
水淹地的甲烷测量排放

气候	扩散排放（无冰期） $E_f(\text{CH}_4)_{\text{液相扩散}} (\text{kg CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ day}^{-1})$					参考文献
	中值	最小值	最大值	$N_{\text{测量}}$	$N_{\text{水库}}$	
极带/北温带, 湿	0.086	0.011	0.3	253	13	Blais 2005; Tremblay 等, 2005; Therrien, 2004; Therrien, 2005; Huttunen 等, 2002; Lambert, 2002; Duchemin, 2000
寒温带, 湿润	0.061	0.001	0.2	233	10	Tremblay 等, 2005; Therrien, 2004; Blais, 2005; Lamber, 2002; Duchemin 等, 1999
暖温带, 湿润	0.150	- 0.05	1.1	416	16	Tremblay 等, 2005; Soumis 等, 2004; Duchemin, 2000; Smith 和 Lewis, 1992
暖温带, 干	0.044	0.032	0.09	135	5	Therrien 等, 2005; Therrien, 2004; Soumis 等, 2004
热带, 湿	0.630	0.067	1.3	303	6	Tavares de lima, 2005; Abril 等, 2005; Therrien, 2004; Rosa 等, 2002; Tavares de lima 等, 2002; Duchemin 等, 2000; Galy-Lacaux 等, 1997; Galy-Lacaux, 1996; Keller 和 Stallard, 1994
热带, 干	0.295	0.070	1.1	230	5	Rosa 等, 2002; Dos Santos, 2000

第二栏中各值为文献报告的  $\text{CH}_4$  排放中值, 其自身为各水库中测量流量的算术平均数。因为基本流量测量的频率分布不正常, 且其算术平均数已被极值扭曲, 因此采用了中值, 最小和最大值分别为特定气候区域内所有各个测量的最低和最高值; 提供这些值仅为表明变化性。 $N_{\text{测量}}$  = 测量的数目;  $N_{\text{水库}}$  = 抽样水库数目。

这些测量可能包括非人为排放 (例如, 源自上游流域的碳排放), 以及可能的人为排放的重复计算 (例如, 源自水库区域内城市地区的废水), 因而可能高估排放。

## 不确定性评估

估算源于水淹地的甲烷排放的两个最大不确定性来源是各种途径的排放因子（扩散，气泡和脱气）的质量，和水淹地面积的估值。

## 排放因子

如表 3a.2 所示，在温带和北温带地区，平均扩散排放可有量级的变化，而在热带地区可有 1-3 量级的变化。在所有区域均观察到气泡排放中发生的相同变化（大约一个量级）。因此，任何缺省排放因子的使用均将导致高不确定性。

甲烷的脱气排放也是一个重要的不确定性源。脱气排放是热带水淹地中 GHG 排放的重要组成部分（Galy-lacaux 等，1997），占源自达到 9 年水库的总 GHG 排放的 40% 以上。但是，对于许多水库，脱气排放很少或可忽略不计（Duchemin, 2000; Soumis 等，2004）。因此，在更多了解甲烷脱气排放动态之前，应逐个进行估算。

为减少排放因子中的不确定性，各国应建立适合的，统计学上合理的抽样策略，此策略应考虑所研究的生态系统的自然变化性（附录 2 框 2a.1）。如果适用，无冰期和冰覆盖期之间的区别可能是准确性的重大改进（Duchemin 等，2005）。这些抽样策略应包括每一水库充足的抽样站点，充足的蓄水地和抽样期。抽样站点的数量应采用公认的统计方法加于确定。此外，各国应考虑纳入附录 2 框 2a.1 的各因子。

## 水淹地面积

应可获取大坝 >100 km<sup>2</sup> 后面保留的水淹地面积的相关信息，其不确定性很可能约为 10%，尤其是在拥有大型水坝和水力发电水库的国家。对于拥有大量水淹地但无国家数据库的各国，大坝后面保留的水淹地面积的不确定性很可能将高于 50%。小型水坝的位置、类型和作用的相关详细信息亦可能很难获取，不过统计推论很可能基于数据可获水库的大小分布。此外，水库因各种原因建造，这会影响到数据的可获性，并因此表面积的不确定性取决于国家特定条件。

### 3a.2 转化为水淹地的土地

对于转化为水淹地的土地，如了解实情，建议采用表 3a.2 的测量排放。清单编制者应采用 3a.1 节描述的方法 1、方法 2，和方法 3，来估算源自转化为水淹地的土地中的甲烷排放。

## 参考文献

- Abril, G., Guérin, F., Richard, S., Delmas, R., Galy-Lacaux, C., Gosse, P., Tremblay, A., Varfalvy, L., dos Santos, M.A. and Matvienko, B. (2005). Carbon dioxide and methane emissions and the carbon budget of a 10-years old tropical reservoir (Petit-Saut, French Guiana), *Global Biogeochemical Cycle*, **19**, doi:10292005GB002457.
- Blais, A.-M. (2005). Étude des gaz à effet de serre en milieux aquatiques Relevés de terrain 2005. Rapport d'Environnement Illimité à Hydro-Québec Production. 30 p. and annexes.
- Delmas, R., Richard, S., Guérin, F., Abril, G., Galy-Lacaux, C., Delon, C. and Grégoire, A. (2005). Long Term Greenhouse Gas Emissions from the Hydroelectric Reservoir of Petit Saut (French Guiana) and Potential Impacts. In Tremblay, A., L. Varfalvy, C. Roehm and M. Garneau (Eds.). *Greenhouse gas Emissions: Fluxes and Processes, Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments*. Environmental Science Series, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 293-312.
- dos Santos, M.A. (2000). Inventário emissões de gases de efeito estufa derivadas de Hidrelétricas, PhD. Dissertation, University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil, 154p.
- Duchemin, E., Lucotte, M., Canuel, R. and Soumis, N. (2006). First assessment of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> emissions from shallow and deep zones of boreal reservoirs upon ice break-up, Lakes and Reservoirs: *Research and Management*, **11**:9-19.
- Duchemin, É. (2000). Hydroelectricity and greenhouse gases: Emission evaluation and identification of biogeochemical processes responsible for their production, PhD. Dissertation, Université du Québec à Montréal, Montréal (Québec), Canada, 321 p (available on CD-ROM).

- Duchemin, É., Lucotte, M., Canuel, R. and Chamberland, A. (1995). Production of the greenhouse gases CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> by hydroelectric reservoirs of the boreal region, *Global Biogeochemical Cycles*, **9**, 4, 529-540.
- Duchemin, É., Lucotte, M., Canuel, R., Almeida Cruz, D., Pereira, H.C., Dezincourt, J. and Queiroz, A.G. (2000). Comparison of greenhouse gas emissions from an old tropical reservoir and from other reservoirs worldwide, *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, **27**, 3, 1391-1395.
- Duchemin, É., Canuel, R., Ferland, P. and Lucotte, M. (1999). Étude sur la production et l'émission de gaz à effet de serre par les réservoirs hydroélectriques d'Hydro-Québec et des lacs naturels (Volet 2), Scientific report, Direction principal Planification Stratégique - Hydro-Québec, 21046-99027c, 48p.
- Galy-Lacaux, C. (1996). Modifications des échanges de constituants mineurs atmosphériques liées à la création d'une retenue hydroélectrique. Impact des barrages sur le bilan du méthane dans l'atmosphère, PhD dissertation, Université Paul Sabatier, Toulouse (France), 200 p.
- Galy-Lacaux, C., Delmas, R., Jambert, C., Dumestre, J.-F., Labroue, L., Richard, S. and Gosse, P. (1997). Gaseous emissions and oxygen consumption in hydroelectric dams: a case study in French Guyana, *Global Biogeochemical Cycles*, **11**, 4, 471-483.
- Galy-Lacaux, C., Delmas, R., Kouadio, G., Richard, S. and Gosse, P. (1998). Long-term greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical forest regions, *Global Biogeochemical Cycles*, **13**, 2, 503-517.
- Hélie, J.F. (2004). Geochemistry and fluxes of organic and inorganic in aquatic systems of eastern Canada: examples of the St-Lawrence River and Robert-Bourassa reservoir: Isotopic approach, PhD. Dissertation, Université du Québec à Montréal, Montréal (Québec), Canada, 205p.
- Houel, S. (2003). Dynamique de la matière organique terrigène dans les réservoirs boréaux, PhD. Dissertation, Université du Québec à Montréal, Montréal (Québec), Canada, 121p.
- Huttunen, J.T., Väisänen, T.S., Hellsten, S.K., Heikkinen, M., Nykänen, H., Jungner, H., Niskanen, A., Virtanen, M.O., Lindqvist, O.V., Nenonen, O.S. and Martikainen, P.J. (2002). Fluxes of CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, and N<sub>2</sub>O in hydroelectric reservoir Lokka and Porttipahta in the northern boreal zone in Finland, *Global Biogeochemical Cycles*, **16**, 1, doi:10.1029/2000GB001316.
- International Commission on Large Dams (ICOLD) (1998). World Register of Dams 1998. Paris. International Committee on large Dams (Ed.). Metadatabase.
- Keller, M. and Stallard, R.F. (1994). Methane emission by bubbling from Gatun lake, Panama, *J. Geophys. Res.*, **99**, D4, 8307-8319.
- Lambert, M. (2002). Campagne d'échantillonnage sur les émissions de gaz à effet de serre des réservoirs et des lacs environnants - Rapport de terrain 2001. Rapport présenté à la Direction Barrage et environnement par la Direction Environnement, Hydro-Québec, 108 p and appendix.
- Rosa, L.P., Matvienko Sikar, B., dos Santos, M.A., and Matvienko Sikar, E. (2002). Emissões de dióxido de carbono e de metano pelos reservatórios hidroelétricos brasileiros, Relatório de referência – Inventário brasileiro de emissões antropicas de gás de efeito de estufa, Ministério da Ciência e tecnologia, Brazil, 199p.
- Smith, L.K. and Lewis, W.M. (1992). Seasonality of methane emissions from five lakes and associated wetlands of the Colorado Rockies, *Global Biogeochemical Cycles*, **6**, 4, 323-338
- Soumis, N., Duchemin, É., Canuel, R. and Lucotte, M. (2004). Greenhouse gas emissions from reservoirs of the western United States, *Global Biogeochem. Cycles*, **18**, GB3022, doi:10.1029/2003GB002197.
- Tavares de Lima, I. (2005). Biogeochemical distinction of methane releases from two Amazon hydroreservoirs, *Chemosphere*, (in press)
- Tavares de Lima, I. (2002). Emissão de metano em reservatório hidrelétricos amazônicos através de leis de potência (Methane emission from Amazonian hydroelectric reservoirs through power laws), PhD Dissertation, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil, 119 p.
- Therrien, J. (2004). Flux de gaz à effet de serre en milieux aquatiques - Suivi 2003. Rapport de GENIVAR Groupe Conseil Inc. présenté à Hydro-Québec. 52 p. et annexes.
- Therrien, J., Tremblay, A. and Jacques, R. (2005). CO<sub>2</sub> Emissions from Semi-arid Reservoirs and Natural Aquatic Ecosystems. In Tremblay, A., L. Varfalvy, C. Roehm et M. Garneau (Eds.). Greenhouse Gas Emissions: Fluxes and Processes, Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments. Environmental Science Series, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 233-250.



- Tremblay, A., Therrien, J., Hamlin, B., Wichmann, E. and LeDrew, L. (2005). GHG Emissions from Boreal Reservoirs and Natural Aquatic Ecosystems. *In* Tremblay, A., L. Varfalvy, C. Roehm and M. Garneau (Eds.). *Greenhouse gas Emissions: Fluxes and Processes, Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments*. Environmental Science Series, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 209-231.
- WCD (2000). *Dams and Development a New Framework for Decision-Making*, The report of the World Commission on Dams, Earthscan Publications Ltd, London and Sterling, VA, 356 p.