

**Avaliação do Efeito da Cobertura Vegetal Sobre a  
Concentração de Metano Dissolvido e Parâmetros Físico-  
Químicos em Duas Lagoas Continentais do Norte do Estado do  
Rio de Janeiro, RJ**

**LEIDI MAURA BENTO DE SOUZA**

**Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro  
CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ  
JANEIRO - 2008**

**Avaliação do Efeito da Cobertura Vegetal Sobre a  
Concentração de Metano Dissolvido e Parâmetros Físico-  
Químicos em Duas Lagoas Continentais do Norte do Estado do  
Rio de Janeiro, RJ**

**LEIDI MAURA BENTO DE SOUZA**

Dissertação apresentada ao Centro de Biociências e Biotecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a obtenção do Título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais.

**ORIENTADORA: PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. CRISTINA MARIA MAGALHÃES DE SOUZA**

**Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro  
CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
JANEIRO - 2008**

**Avaliação do Efeito da Cobertura Vegetal Sobre a  
Concentração de Metano Dissolvido e Parâmetros Físico-  
Químicos em Duas Lagoas Continentais do Norte do Estado do  
Rio de Janeiro, RJ**

**LEIDI MAURA BENTO DE SOUZA**

Dissertação apresentada ao Centro de  
Biotecnologia e Biotecnologia da Universidade  
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,  
como parte das exigências para a obtenção  
do Título de Mestre em Ecologia e Recursos  
Naturais.

Aprovada em 29 de janeiro de 2008.

Comissão examinadora:

---

Prof. Dr. Alex Enrich Prast - Departamento de Ecologia - UFRJ

---

Prof. Dr. Carlos Eduardo Veiga de Carvalho - Laboratório de Ciências Ambientais - UENF

---

Dr. Marcelo Gomes de Almeida - Laboratório de Ciências Ambientais - UENF

---

Prof. Dra. Cristina Maria Magalhães de Souza - Laboratório de Ciências Ambientais - Orientadora - UENF

Dedico aos meus pais Antônio Cláudio  
(*in memoriam*) e Severina e aos meus  
irmãos Cláudio e Marcos Antônio.

## **Agradecimentos**

A Prof<sup>a</sup> Glauca por ter aceitado me orientar inicialmente.

A Prof<sup>a</sup> Cristal por ter aceitado me orientar e me apoiado em um dos momentos mais difíceis que passei durante o desenvolvimento desse trabalho. Pelo companheirismo na elaboração do presente trabalho nas coletas de campo e pela amizade. Obrigada Cristal por acreditar e apostar em mim e me direcionar e apoiar em todos os momentos dessa pesquisa a partir do momento que você esteve presente. Sou muito grata a você!

A todos os professores do LCA, pelos os ensinamentos e experiências adquiridas.

Em especial aos professores Ana Paula, Carlinhos e Ângela pelo apoio e incentivos incondicionais.

Ao Marcelo Almeida pela amizade e minuciosa e importante revisão deste trabalho, e pelas ajudas nos experimentos de campo e laboratório.

A UENF pela concessão da bolsa de Mestrado.

A FAPERJ pelo fomento do projeto.

A Beti pelo incondicional apoio e amizade.

A todos os amigos do LCA, pela convivência agradável e companheirismo durante as disciplinas e pelo apoio durante os momentos difíceis que passei tanto na minha vida pessoal quanto no desenvolvimento deste trabalho. Agradeço ao Gustavo, Marcella, Giselle Freesz, a Gi loira, aos Brunos Esteve e Masi, a Taíse e Willian, Junior, a Carol, Claudinha. E mais ao Matheus e Vinícius pelas dicas de estatística, ao Fofuxo. A Ana Paula, a Elaine Bernini pelo apoio nos momentos difíceis, ao Fred, a Lígia, a Vanessa.

A Elida e Izabel pela amizade e ajudas de campo.

A Joanna pelas ajudas de campo e no laboratório.

Aos técnicos de laboratório Cristiano, Alcemir e Ana Paula pela amizade e ajuda nos experimentos.

Aos técnicos de campo Ivanilton, Helmo, Sr. Antônio e Vandeley nas coletas de campo.

A minha mãe, minha minininha, pelo apoio nos momentos difíceis e pelo carinho. Eu te amo querida!

Aos meus irmãos Cláudio Marcos e Marcos Antônio pelo apoio e confiança que depositaram em mim durante todos esses anos de minha formação acadêmica.

Aos meus anjinhos, meus sobrinhos Matheus, Lucas e Maria Eduarda, pelos sorrisos, pelos beijos e carinhos. Contemplar o sorriso e o olhar puro e verdadeiro de vocês me fortalece e me faz acreditar em dias melhores. Titia ama vocês!

Ao Fabiano pelo apoio, carinho, incentivo, critica. Enfim, por você fazer parte da minha vida. Adoro você!

A minha madrinha Madalena pelo apoio nos momentos difíceis que passei durante o desenvolvimento desse trabalho, e ajuda financeira durante o período em que estive sem bolsa.

A Paula pelo companheirismo e amizade, por me amparar naqueles momentos... Você sabe. Te amo amiga!!!

A amiga Izabel pelos incentivos e orações, muito obrigada!

Ao Leandro e Deivison pelo incentivo nos momentos difíceis.

## SUMÁRIO

Resumo	III
Abstrat	V
Abreviaturas	VII
Lista de Figuras	VIII
Lista de Tabelas	XI
<b>1 - INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1 - Ambientes Alagados	2
1.2 - Fatores Reguladores da Metanogênese	7
1.3 - Macrófitas Aquáticas	9
<b>2 - HIPÓTESES DO TRABALHO</b>	<b>11</b>
<b>3 - OBJETIVOS</b>	<b>11</b>
3.1 - Objetivo Geral	11
3.2 - Objetivos Específicos	11
<b>4 - MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>12</b>
4.1 - Área de Estudo	12
4.1.1 - Lagoa do Vigário	12
4.1.2 - Lagoa de Cima	13
4.2 - Estratégias de Coleta	14
4.2.1 - Estratégias Inicialmente Testadas	14
4.2.2 - Estratégias Adotadas neste Trabalho	15
4.3 - Tratamento das Amostras	22
4.3.1 - Procedimentos Realizados no Campo	22
4.3.2 - Procedimentos Realizados no Laboratório	23
4.4 - Tratamento Estatístico	25

<b>5 - RESULTADOS</b>	<b>26</b>
5.1 - Clima no Período de Estudo	26
5.2 - Lagoa do Vigário	27
5.2.1 - Concentração de CH <sub>4</sub> na Lagoa do Vigário na Presença e Ausência de <i>Typha domingensis</i>	27
5.2.2 - Variação Temporal da Concentração de CH <sub>4</sub> na Lagoa do Vigário	29
5.2.3 - Concentração de Metano na Água Superficial e Intersticial do Sedimento da Lagoa do Vigário	31
5.3 - Lagoa de Cima	32
5.3.1 - Variação Temporal da Concentração de CH <sub>4</sub>	32
5.4 - Avaliação do Papel da <i>Typha domingensis</i> no Ciclo do Metano	34
<b>6 - DISCUSSÃO</b>	<b>36</b>
6.1 - Lagoa do Vigário	36
6.1.1 - Concentração de CH <sub>4</sub> na Lagoa do Vigário na Presença e Ausência de <i>Typha domingensis</i>	36
6.2 - Variação Temporal da Concentração de CH <sub>4</sub> na Lagoa do Vigário e de Cima	39
6.3 - Comparação dos Intervalos de Concentração de Metano encontrados no Presente Estudo com Outros Trabalhos	41
6.4 - Avaliação do Papel da <i>Typha domingensis</i> no Ciclo do Metano	45
<b>7 - CONCLUSÃO</b>	<b>49</b>
<b>8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>50</b>
<b>9 - APÊNDICES</b>	<b>56</b>

## RESUMO

Nesse estudo foi avaliada a concentração de  $\text{CH}_4$  na coluna d'água em duas lagoas continentais (Lagoa de Cima e do Vigário, Campos dos Goytacazes - RJ) com diferentes graus de contaminação por efluentes domésticos, na presença e ausência da macrófita *Typha domingensis*. Na lagoa do Vigário foram observadas concentrações de  $\text{CH}_4$  em áreas com macrófitas (CM) e sem macrófitas (SM). A concentração de metano na área SM variou entre 0,09 - 6,63  $\mu\text{mol.L}^{-1}$  e na área CM o intervalo foi de 0,06 - 0,80  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ . Os resultados indicam uma maior concentração de  $\text{CH}_4$  na área SM em relação à área CM. A avaliação temporal da concentração de  $\text{CH}_4$  foi realizada em áreas sem macrófitas nas duas lagoas. O intervalo de concentração de metano na lagoa do Vigário foi maior no período chuvoso (0,14 - 0,36  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ) em relação ao período seco (0,07 - 0,20  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ). Na lagoa de Cima observou-se o mesmo padrão de variação temporal com maior concentração de  $\text{CH}_4$  no período chuvoso (0,12 - 0,49  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ) em relação ao período seco (0,07 - 0,13  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ). O efeito da *Typha* no ciclo do  $\text{CH}_4$  foi avaliado em amostras de água superficial coletadas em um banco de macrófita, sob duas condições de poda: (1) 5 cm abaixo do nível d' água (CAb); (2) 5 cm acima do nível d' água (CAc) e em um ponto sem macrófita (SM), que serviu como controle juntamente com uma área CM. As concentrações de  $\text{CH}_4$  foram: CM = 1,11 - 3,11  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ; SM = 0,20 - 0,67  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ; CAc = 0,51 - 2,40  $\mu\text{mol.L}^{-1}$  e CAb = 0,53 - 2,13  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ . Na lagoa do Vigário a produção de metano no sedimento foi avaliada medindo-se sua concentração na água intersticial e comparando-se com água de superfície. O intervalo da concentração de metano na água superficial variou entre 0,45 e 1,89  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ , enquanto na água intersticial as concentrações encontradas mostraram valores entre 1,91 e 6,35  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ . Os resultados encontrados sugerem uma maior concentração de  $\text{CH}_4$  nas lagoas de estudo no período chuvoso. É possível que este aumento possa ser devido a características típicas desse período, como aumento da temperatura e da profundidade água, bem como maior aporte de matéria orgânica que serve de substrato para metanogênese, e/ou condições físicas favoráveis devido ao aumento da coluna d'água que contribui para maior concentração do  $\text{CH}_4$  na água. A *Typha domingensis* parece participar do ciclo do metano na lagoa do Vigário fornecendo matéria orgânica (detritos e substratos orgânicos através da raiz) para

metanogênese, bem como atuando no transporte desse gás para a atmosfera via aerênquima da planta. Os resultados encontrados para concentração de CH<sub>4</sub> na água intersticial confirmam o substrato sedimentar como fonte principal da produção de metano na lagoa do Vigário.

Palavras - chave: áreas alagadas, eutrofização, metano, *Typha domingensis*, coluna d' água.

## ABSTRACT

In that study the CH<sub>4</sub> concentration was evaluated in water column of two continental lagoons (Lagoa de Cima e Vigário, Campos dos Goytacazes - RJ) with different degrees of contamination for wastewater, in the presence and absence of the macrófita *Typha domingensis*. In the Vigário's lagoon the CH<sub>4</sub> concentrations were observed in areas with macrófitas (CM) and without macrófitas (SM). The methane concentration in the area SM varied among 0,09 - 6,63 µmol.L<sup>-1</sup> and in the area CM the interval was of 0,06 - 0,80 µmol.L<sup>-1</sup>. The results indicate a larger CH<sub>4</sub> concentration in the area SM in relation to the area CM. The temporary evaluation of the CH<sub>4</sub> concentration was accomplished in areas without macrófitas in the two lagoons. The interval of CH<sub>4</sub> concentration in the Vigário's lagoon was larger in the rainy period (0,14-0,36 µmol.L<sup>-1</sup>) in relation to the dry period (0,07 - 0,20 µmol.L<sup>-1</sup>). In the lagoon of Cima the same pattern of temporary variation was observed with larger methane concentration in the rainy period (0,12 - 0,49 µmol.L<sup>-1</sup>) in relation to the dry period (0,07 - 0,13 µmol.L<sup>-1</sup>). The effect of *Typha* in the cycle of CH<sub>4</sub> was evaluated in water surface samples collected in a macrófita area, under two pruning conditions: (1) 5 cm below the level of water (CAb); (2) 5 cm above the level of water (CAc) and in a point without macrófita (SM), that it served as control together with an area CM. The concentrations of CH<sub>4</sub> were: CM = 1,11 - 3,11 µmol.L<sup>-1</sup>; SM = 0,20 - 0,67 µmol.L<sup>-1</sup>; CAc = 0,51 - 2,40 µmol.L<sup>-1</sup> and CAb = 0,53 - 2,13 µmol.L<sup>-1</sup>. In the Vigário's lagoon the methane production in sediment was evaluated being measured the methane concentration in the interstitial water and being compared with surface water. The interval of methane concentration in the water surface varied between 0,45 and 1,89 µmol.L<sup>-1</sup>, while in the water interstitial found concentrations showed values between 1,91 and 6,35 µmol.L<sup>-1</sup>. The found results suggest a larger CH<sub>4</sub> concentration in the study lagoons in the rainy period. It is possible that this increase can be due to typical characteristics of that period, as increase of the temperature and of the depth water, as well as larger contribution of organic matter that it serves as substratum for the process of methane formation, and/or favorable physical conditions due to the increase of the water column that contributed to larger of CH<sub>4</sub> concentration in the water. The *Typha domingensis* seems to participate in the cycle of the methane in the Vigário's lagoon supplying organic matter (debris and organic substrata through

the root) for the process of methane formation, as well as acting in the transport of that gas for the atmosphere by the direct emission of the plant. The results found for CH<sub>4</sub> concentration in the water interstitial confirm the sedimentary substratum as main source of the methane production in the Vigário's lagoon.

Key-Words: flooded areas, eutrophication, methane, *Typha domingensis*, water column.

**Abreviaturas**

CAb_____	Macrófita cortada abaixo da água de superfície
CAC_____	Macrófita cortada acima da água de superfície
CL_____	Chácara da Lagoa
CM_____	Com Macrófita
IC_____	Iate Clube
LC_____	Lagoa de Cima
LV_____	Lagoa do Vigário
SMA_____	Secretaria de Meio Ambiente
SM_____	Sem Macrófita

**Lista de Figuras**

**Figura 1** - Esquemática do ciclo do carbono em áreas alagadas (Adaptado de Fenchel *et al.*, 1998) \_\_\_\_\_ 3

**Figura 2** - Estratificação vertical das principais reações realizadas por microrganismos no sedimento de ecossistemas aquáticos (Fonte: Fenchel *et al.*, 1998) \_\_\_\_\_ 6

**Figura 3** - Esquema representando a produção, oxidação e emissão de metano no sedimento e na coluna d' água nos ecossistemas aquáticos continentais (Fonte: Fenchel *et al.*, 1998) \_\_\_\_\_ 7

**Figura 4** - Esquema dos aerênquimas em macrófitas aquáticas. (A) Caminhos percorridos pelos gases através do aerênquima das plantas (Fonte: Joabson *et al.*, 1999). (B) Representação dos sistemas de canais por onde o ar entre e sai das macrófitas (Fonte: Brix, 1994) \_\_\_\_\_ 10

**Figura 5** - Mapa de localização das lagoas de estudo Vigário e de Cima. Os pontos marcados nas lagoas representam os locais de amostragem. Na lagoa do Vigário as coletas foram realizadas na Chácara da Lagoa (1), e Secretaria de Meio Ambiente (2 e 3). Na lagoa de Cima as coletas foram realizadas próximas ao late Clube (4) \_\_\_\_\_ 14

**Figura 6** - Fluxograma explicativo dos passos metodológicos adotados para coleta na presença e ausência da *Typha domingensis* na Lagoa do Vigário \_\_\_\_ 16

**Figura 7** - Banco amostral de *Typha domingensis* na Chácara da Lagoa \_\_\_\_ 16

**Figura 8** - Fluxograma explicativo dos passos metodológicos aplicados para as coletas realizadas na lagoa de Cima e Vigário para variação temporal \_\_\_\_\_ 18

**Figura 9** - Fluxograma explicativo dos passos metodológicos adotados para avaliar a concentração de CH<sub>4</sub> nos diferentes compartimentos do sistema na Lagoa do Vigário \_\_\_\_\_ 19

**Figura 10** - Banco amostral de *Typha domingensis* na Secretaria de Meio Ambiente \_\_\_\_\_ 20

**Figura 11** - Fluxograma explicativo dos passos metodológicos aplicados para as coletadas realizadas na lagoa do Vigário para realização do experimento com a *Typha domingensis* para avaliar seu papel no ciclo do metano \_\_\_\_\_ 21

**Figura 12** - Variação da temperatura e precipitação pluviométrica no município de Campos dos Goytacazes entre o período de junho de 2006 e janeiro de 2007 (Fonte: Embrapa) \_\_\_\_\_ 26

**Figura 13** - Boxplot das medianas e intervalos interquartiles da variação da concentração de metano na água superficial da lagoa do Vigário na presença e ausência de *Typha domingensis* na Chácara da Lagoa \_\_\_\_\_ 28

**Figura 14** - Boxplot das medianas e intervalos interquartiles da variação da concentração de metano na água superficial da lagoa do Vigário sem vegetação no período seco e chuvoso \_\_\_\_\_ 30

**Figura 15** - Boxplot das medianas e intervalos interquartiles da variação da concentração de metano na água superficial e intersticial da lagoa do Vigário na Chácara da Lagoa em um banco de *Typha domingensis* \_\_\_\_\_ 31

**Figura 16** - Boxplot das medianas e intervalos interquartiles da variação da concentração de metano na água superficial da lagoa de Cima no período seco e chuvoso \_\_\_\_\_ 33

**Figura 17** - Boxplot das medianas e intervalos interquartiles da variação da concentração de metano na água superficial da lagoa do Vigário, no experimento

realizado na Secretaria de Meio Ambiente com a macrófita *Typha domingensis*  
\_\_\_\_\_ 35

**Figura 18** - Intervalos de confiança para comparações múltiplas entre os  
diferentes tipos de tratamentos no experimento realizado com *Typha domingensis*  
na Secretaria de Meio Ambiente \_\_\_\_\_ 36

## Lista de Tabelas

**Tabela 1** - Parâmetros físico-químicos e CH<sub>4</sub> dissolvido onde foram coletadas as amostras de água no ponto com e sem macrófita na lagoa do Vigário (Chácara da Lagoa) \_\_\_\_\_ 27

**Tabela 2** - Valores dos parâmetros físico-químicos e concentração de CH<sub>4</sub> dissolvido medidos nos campos realizados no período seco e chuvoso na lagoa do Vigário, na Secretaria de Meio Ambiente e Chácara da Lagoa. Os parâmetros marcados (\*) não foram medidos devido a problemas analíticos instrumentais \_\_\_\_\_ 29

**Tabela 3** - Valores dos parâmetros físico-químicos e concentração de CH<sub>4</sub> dissolvido medidos nos campos realizados no período seco e chuvoso na lagoa de Cima próximo ao late Clube. Os parâmetros marcados (\*) não foram medidos devido a problemas analíticos instrumentais \_\_\_\_\_ 32

**Tabela 4** - Valores dos parâmetros físico-químicos e concentração de CH<sub>4</sub> dissolvido encontrados na água superficial da lagoa do Vigário nos diferentes tratamentos realizados nos experimentos com macrófitas *Typha domingensis* \_\_\_\_\_ 34

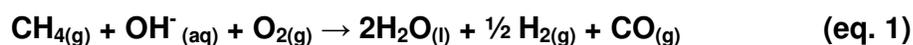
**Tabela 5** - Tabela comparativa das faixas de variações das concentrações de CH<sub>4</sub> dissolvido na coluna d'água em diferentes ambientes aquáticos e as respectivas referências bibliográficas \_\_\_\_\_ 42

## 1 - INTRODUÇÃO

O efeito climático do aumento dos gases do efeito estufa na atmosfera é o aquecimento global. Segundo o 4º Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007), mesmo que a emissão de gases estufa seja estabilizada ou reduzida nos dias atuais às mudanças climáticas são inevitáveis, alterando, conseqüentemente, a dinâmica de funcionamento da Terra, condicionada a fatores físicos, químicos e biológicos.

Atualmente, o CO<sub>2</sub> juntamente com o CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, são considerados os gases mais importantes no processo de aquecimento global. As concentrações médias globais desses gases na atmosfera aumentaram notadamente como resultado das atividades humanas desde 1759 e agora excedem valores pré-industriais (IPCC, 2007). O metano, por exemplo, em 2005, excedeu o nível de base natural dos últimos 650.000 anos, como determinado nos experimentos para avaliação da concentração desse gás nas frações do núcleo do gelo polar (IPCC, 2007). Daí a sua crescente importância no impacto causado na alteração do clima da Terra (Jugsujinda *et al.*, 1996), acentuando o efeito estufa natural (Berner & Berner, 1996). Se por um lado o CO<sub>2</sub> é responsável por cerca da metade do calor atmosférico absorvido (Manahan, 1994), por outro lado, o metano atmosférico chega a ser de 20 a 30 vezes mais eficiente na captação de calor, quando comparado ao gás carbônico, em função da sua alta capacidade calorífica (Manahan, 1994; Baird, 2000).

Embora a sustentabilidade do gás metano na atmosfera seja representado por uma vida média de aproximadamente dez anos (Manahan, 1994), este pode ser removido em grande quantidade através de processos químicos que ocorrem na estratosfera com radicais hidroxilas (OH<sup>-</sup>), como pode ser observado na reação abaixo em que o metano é oxidado e moléculas de vapor d'água e monóxido de carbono são formados (Manahan, 1994).



O Brasil possui uma matriz energética considerada “mais limpa”, em relação aos países que tem com base energética as termoelétricas, por ser constituída, em sua maior parte, por hidroelétricas e uma parcela considerável de

biocombustíveis. O país figura o 4º lugar entre os maiores emissores de gases estufa (World Research Institute, 2007) em função das queimadas oriundas do desmatamento, principalmente da Amazônia, o que representa 75% das emissões brasileiras (Moutinho & Schwartzman, 2005).

Outra fonte significativa de emissão de gases estufa no Brasil é a região do Pantanal que chega a contribuir com cerca de 3,3 % da emissão total de CH<sub>4</sub> em ecossistemas alagados. Estes dados colocam essa região do Centro-Oeste brasileiro como uma das mais importantes fontes naturais de metano atmosférico (Marani & Alvalá, 2007). Outros autores ressaltam a importância dos reservatórios de água doce como fontes representativas da emissão de metano no Brasil. Santos *et al.*, (2006) avaliaram o papel de nove reservatórios brasileiros em relação às taxas de emissões de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, e concluíram que juntos, estes reservatórios chegam a emitir cerca de 4.908.166 tC/ano.

### **1.1 - Ambientes Alagados**

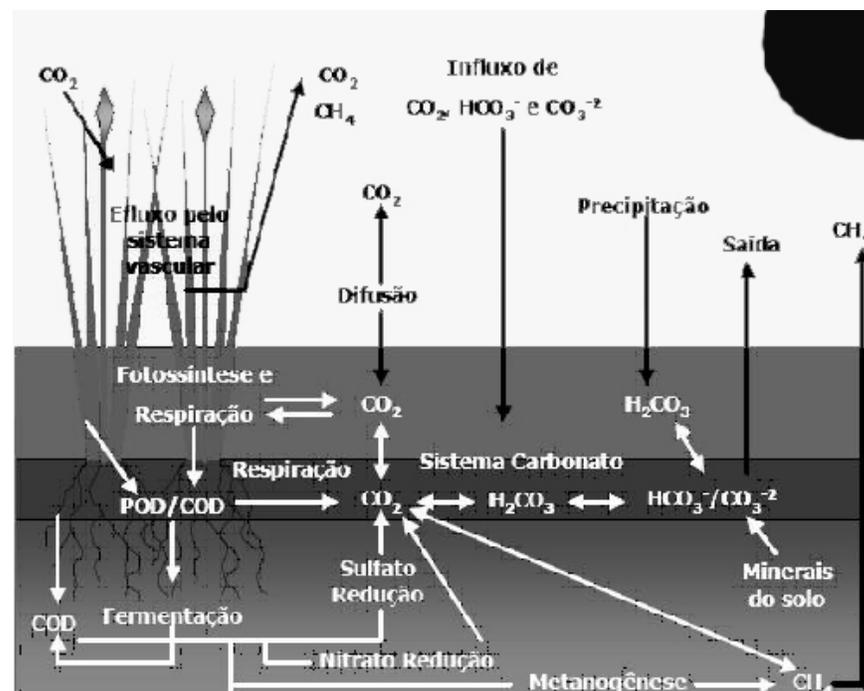
Estima-se que solos alagados cubram cerca de 5 a 7% da superfície de todo o planeta (Neue *et al.*, 1997; Anselmann & Crutzen, 1989) e que sejam uma grande fonte natural de metano atmosférico, contribuindo com cerca de 20% da emissão global (Anselmann & Crutzen, 1989).

Os alagados são encontrados em todos os continentes e em regiões com climas variados. São localizados geralmente em ecótonos, ou seja, entre os sistemas terrestre seco e aquático como rios, lagos, estuários e oceanos. Podem ser também encontrados como integrantes da paisagem em bacias isoladas com pouca saída de água, mas que cortam o lençol freático. Essas áreas em geral apresentam uma sazonalidade quanto ao volume de água que as caracteriza induzindo a limites edáficos que, em última análise, definem as taxas dos recursos metabólicos disponíveis (Mitsch & Gosselink, 2000). Nesses ambientes alagados predomina o crescimento de uma vegetação natural de plantas aquáticas chamadas macrófitas (Brix, 1997).

Áreas alagadas ou quaisquer outros sistemas que contenham macrófitas aquáticas como organismos produtores, são reconhecidos como “sumidouros” de nutrientes devido a diversos processos que neles ocorrem. A assimilação dessas espécies químicas pelas plantas, sedimentação, absorção e estocagem na

biomassa microbiana, desnitrificação, adsorção e precipitação (Burgoon *et al.*, 1991; Lannes, 2004), são alguns dos mecanismos que caracterizam esse ambiente como um “filtro natural”, pois são receptores de águas provenientes de corpos hídricos de fontes naturais ou efluentes de origem antrópica (Mitsch & Gosselink, 2000). Este cenário inclui os alagados como áreas potenciais para o desenvolvimento da lavoura, observando-se em algumas regiões a sua ampla utilização para o cultivo de arroz (Neue *et al.*, 1997).

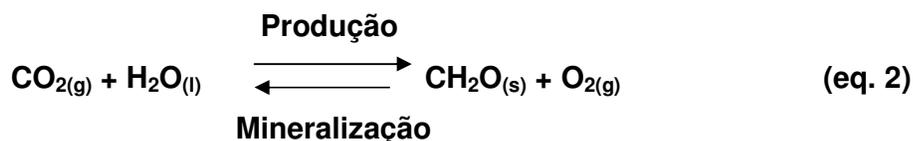
Para melhor compreensão do processo de formação de  $\text{CH}_4$  em ambientes aquáticos, é preciso compreender o ciclo do carbono nestes ambientes. Segundo Carmouze (1994), o  $\text{CO}_2$  que é o precursor da fotossíntese e o produto final da degradação da matéria orgânica, é o melhor indicador para definir o metabolismo do ecossistema (Figura 1).



**Figura 1 - Esquematização do ciclo do carbono em áreas alagadas (Adaptado de Fenchel *et al.*, 1998).**

O gás carbônico participa de processos aeróbicos e anaeróbicos no ciclo do carbono. A matéria orgânica é continuamente produzida por meio dos processos de foto e de biossíntese, e a sua mineralização ocorre através dos processos de respiração e fermentação. O metabolismo de um ecossistema aquático compreende, portanto, a soma dos diversos processos metabólicos que envolvem

as comunidades características da biota local (Carmouze, 1994). Em condição aeróbica, o metabolismo pode ser expresso de maneira simplificada (eq. 2), caracterizado por um processo geral de produção e mineralização de matéria orgânica. A fotossíntese e a respiração debelam os horizontes anaeróbios (domínio atmosférico e zonas oxidadas do compartimento pedológico), onde a matéria orgânica é reduzida, e a molécula de  $\text{CO}_2$  funciona como um doador de elétrons para o processo fotossintético e o  $\text{O}_2$  funciona como acceptor terminal de elétrons no processo de respiração (Carmouze, 1994; Mitsch & Gosselink, 2000).



Já em condição anaeróbica o carbono está presente em reações de fermentação mediado por organismos anaeróbicos facultativos e/ou aneróbicos. Ocorre quando a matéria orgânica é acceptor terminal de elétrons na respiração de microrganismos e forma vários ácidos e álcoois de baixo peso molecular e  $\text{CO}_2$ . O processo de formação de ácido láctico (eq. 3) e etanol (eq. 4) a partir de material orgânico constituem exemplos de fermentação. Além da fermentação o carbono está presente na metanogênese. Esta ocorre quando certas bactérias (metanogênicas) usam  $\text{CO}_2$  (eq. 5), ou, alternativamente, compostos orgânicos de baixo peso molecular (eq. 6) como acceptor de elétrons para a produção do gás  $\text{CH}_4$  (Carmouze, 1994; Mitsch & Gosselink, 2000).

- Fermentação

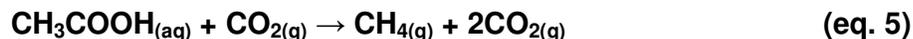


(ácido láctico)



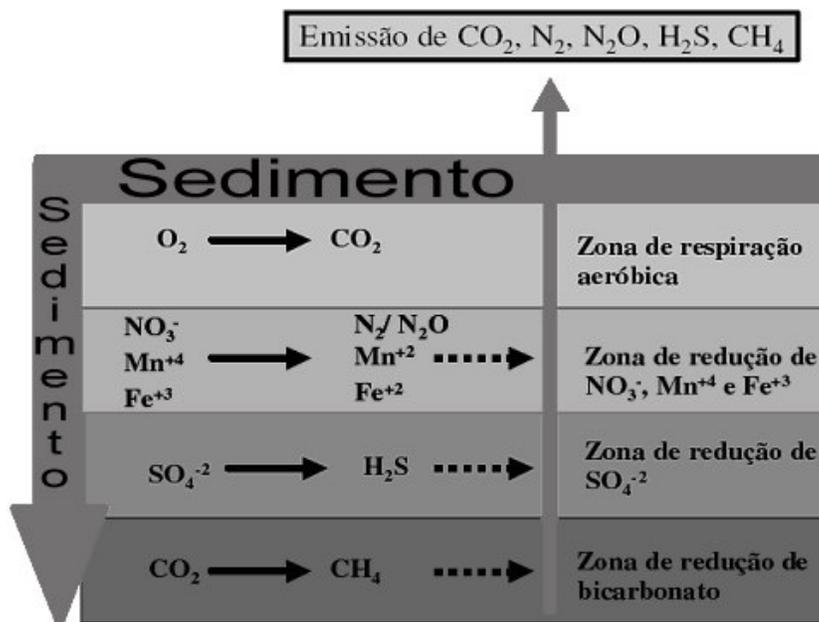
(etanol)

- Metanogênese



O  $\text{CO}_2$  presente na atmosfera é rapidamente transportado para a biota terrestre, assim como deles para a atmosfera. Os vegetais, por meio da fotossíntese, são capazes de fixar  $\text{CO}_2$  e produzir moléculas orgânicas variadas utilizando energia de origem solar. A partir do processo de fotossíntese, o carbono é incorporado a biomassa de produtores primários e, posteriormente, transportado ao longo da cadeia alimentar. Por meio da respiração aeróbia de todos os organismos da cadeia trófica, a matéria orgânica é consumida e o  $\text{CO}_2$  é produzido. A porção do carbono que não é gasta no processo respiratório implica um incremento em termos de biomassa. Após a morte de animais e plantas, a matéria orgânica acumulada no sedimento é decomposta por microrganismos em moléculas orgânicas menores e  $\text{CO}_2$ . Os processos de respiração aeróbia e a decomposição (aeróbica e anaeróbica) são responsáveis pelo retorno do  $\text{CO}_2$  para atmosfera, além do  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}$ . O  $\text{CO}_2$  pode ainda transitar passivamente por difusão, entre a atmosfera e o ambiente aquático. Nesse reservatório – a hidrosfera – o  $\text{CO}_2$  reage com a água, originando outras formas de carbono, tratadas em conjunto como carbono inorgânico dissolvido (CID). Todas essas formas se tornam disponíveis para a utilização pelos organismos fotossintetizantes, como algas, macrófitas e algumas bactérias (Roland *et al.*, 2005; Mitsch & Gosselink, 2000).

Nas camadas superficiais do sedimento de ambientes alagados há a formação de  $\text{CO}_2$  a partir da ocorrência de processos aeróbicos. As camadas situadas abaixo da zona de respiração aeróbica caracterizam a hierarquização dos principais processos anaeróbicos, conforme a seguinte ordem hierárquica, a partir da fração superficial do sedimento: a) zona de redução de  $\text{NO}_3^-/\text{N}_2$  e  $\text{N}_2\text{O}$ , também chamada de zona de desnitrificação; b) zona de redução dos metais  $\text{Mn}^{+4}/\text{Mn}^{+2}$  e  $\text{Fe}^{+3}/\text{Fe}^{+2}$ ; c) zona de sulfato redução  $\text{SO}_4^{2-}/\text{H}_2\text{S}$ ; d) zona de metanogênese  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$ , (camada mais reduzida do sedimento) (Figura 2) (Mitsch & Gosselink, 2000; Carmouze, 1994).



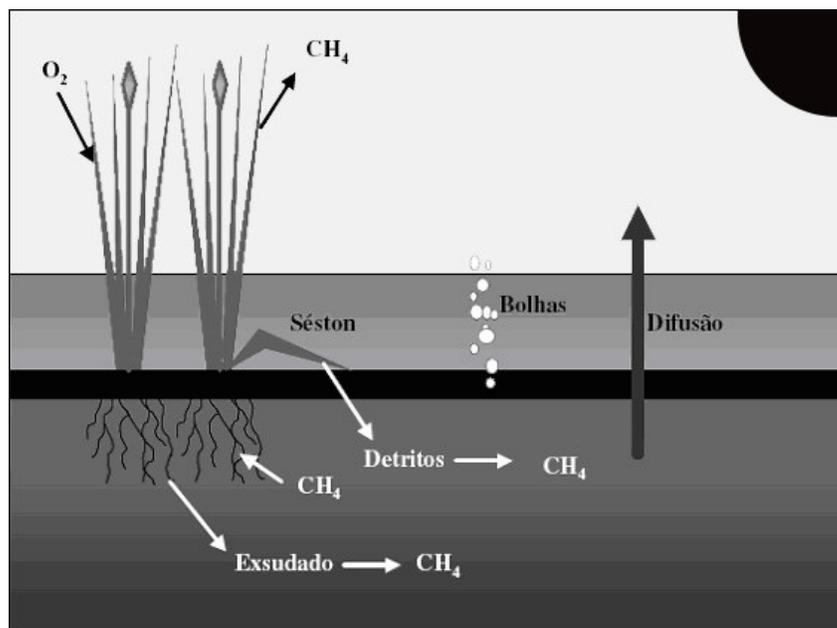
**Figura 2 - Estratificação vertical das principais reações realizadas por microrganismos no sedimento de ecossistemas aquáticos (Fonte: Fenchel *et al.*, 1998).**

Estas espécies químicas mencionadas são os mediadores das reações redox do sistema, onde, uma vez atuando como potenciais agentes oxidantes deslocam elétrons dos substratos presentes em faixas específicas de potenciais redox, tornando a matriz sedimentar cada vez mais reduzida. Dessa maneira as condições anaeróbicas resultam nas transformações de compostos inorgânicos, o que gera a produção de gases, a serem potencialmente emitidos para atmosfera (Mitsch & Gosselink, 2000).

Em alagados com condições reduzidas extremas ocorre o processo de metanogênese, e o gás metano é liberado para atmosfera. A metanogênese ocorre quando certas bactérias anaeróbicas, chamadas metanogênicas, usam dióxido de carbono e compostos orgânicos de baixo peso molecular como aceptores de elétrons na decomposição de matéria orgânica, previamente metabolizada por outros organismos (Mitsch & Gosselink, 2000; Fenchel *et al.*, 1998).

A emissão de metano em alagados geralmente apresenta uma variação sazonal de acordo com a presença ou ausência de vegetação aquática (Mitsch & Gosselink, 2000; Neue *et al.*, 1997). Essa vegetação pode agir como sumidouro de gás do efeito estufa, retendo o dióxido de carbono da atmosfera e de nutrientes

presentes na coluna d'água para a realização da fotossíntese. Por outro lado, as macrófitas podem agir como uma fonte de gases do efeito estufa através da emissão do metano produzido no sedimento, translocando o gás para atmosfera via aerênquima da planta, além de fornecer sua própria biomassa como substrato para os organismos metanogênicos, quando atinge o estágio senescente (Brix *et al.*, 2001). Na ausência da macrófita, o metano é liberado para atmosfera através de processos de difusão e/ou formação de bolhas desse gás na coluna d'água (Chanton *et al.*, 1989; Brix *et al.*, 1992; Brix, 1996) (Figura 3).



**Figura 3 - Esquema representando a produção, oxidação e emissão de metano no sedimento e na coluna d' água nos ecossistemas aquáticos continentais (Fonte: Fenchel *et al.*, 1998).**

## 1.2 - Fatores Reguladores da Metanogênese

Em áreas alagadas o processo de metanogênese é regulado ainda por alguns fatores edáficos. Entre eles é possível destacar a temperatura, uma vez que alguns autores observaram uma relação direta entre este parâmetro e o fluxo potencial de metano (Hargreaves & Fowler, 1998; Singh, 2001; Wang & Han, 2005; Xing *et al.*, 2005;). Segundo Chang & Yang (2003), de modo geral a produção de  $\text{CH}_4$  parece estar relacionada à temperatura do sedimento, uma vez

que esses autores encontraram uma relação linear entre a atividade microbiana metanogênica e a temperatura do ambiente em questão. Segundo os mesmos autores, o melhor intervalo de temperatura para metanogênese está entre 15 e 30 °C.

Um outro importante fator regulador do processo seria a ocorrência de uma faixa específica do potencial redox (Singh, 2001; Yu *et al.*, 2006). Chang & Yang (2003) concluíram que cerca de 80% do metano produzido biologicamente por organismos anaeróbicos ocorre em condições redutoras (baixas taxas de Eh). Diretamente relacionado a essa questão, encontram-se as observações de Singh *et al.*, (2000), onde os autores discutem que o aumento da profundidade promove a estratificação da coluna d'água e uma diminuição da concentração de O<sub>2</sub> dissolvido nas águas de fundo, o que gera a redução do potencial redox e favorece a metanogênese, dependente da produção de organismos anaeróbicos obrigatórios e da disponibilidade de aceptores de elétrons alternativos (Mitsch & Gosselink, 2000; Fenchel *et al.*, 1998).

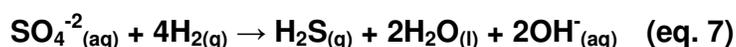
Outra variável físico-química importante a ser considerada na metanogênese é o pH do sistema, uma vez que as bactérias responsáveis pelo processo crescem em um intervalo restrito na escala de valores entre 6 e 8, com o ótimo em 7 (Oremland, 1988; Chang & Yang, 2003).

Segundo Chang & Yang (2003), outro fator que beneficia a metanogênese é a razão C/N no sedimento, uma vez que quanto maior a razão maior a produção de metano, considerando que o processo de metanogênese ocorre no estágio mais reduzido de decomposição da matéria orgânica.

A estação chuvosa potencializa a metanogênese, uma vez que este período é caracterizado pelo maior aporte de matéria orgânica oriundos da lixiviação e escoamento superficial do solo (Chang & Yang, 2003; Singh, 2001; Singh *et al.*, 2000) além do aumento da profundidade das águas, o que permite a anoxia das águas de fundo devido a estratificação da coluna d'água (Duan *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2005; Singh *et al.*, 2000). Outra característica do período chuvoso é a parcial desestratificação da coluna d'água e um superior transporte das águas de fundo ricas em metano devido a perturbação da coluna d'água através da chuva e ventos (Abril *et al.*, 2006).

Características antropogênicas como dejetos de esgotos e resíduos industriais e agrícolas favorecem a metanogênese (Blaha *et al.*, 1999; Singh *et al.*, 2000; Chang & Yang, 2003), através do aumento do aporte de matéria orgânica, que será usado pelos organismos decompositores.

Um outro fator regulador é a salinidade. Em geral os ambientes hipersalinos apresentam elevadas concentrações do ânion sulfato ( $\text{SO}_4^{-2}$ ). Nesses ambientes, bactérias sulfato redutoras crescem pela oxidação de substratos, reduzindo sulfato a gás sulfídrico (Fenchel *et al.*, 1998), como pode ser observado na reação abaixo.



Nestas condições, as bactérias sulfato redutoras utilizam os substratos orgânicos sedimentares em níveis menos anóxicos do que os metanogênicos necessitam (Casper, 1992; Mitsch & Gosselink, 2000).

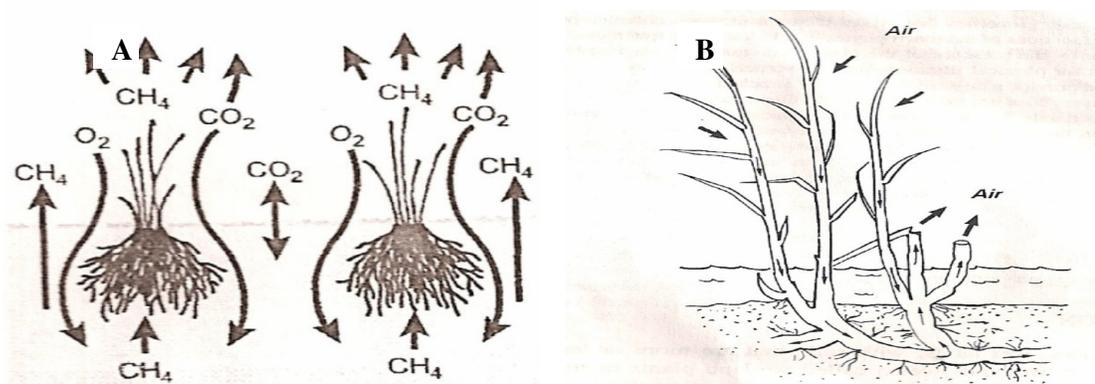
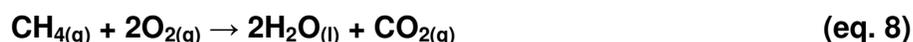
Essa competição por substratos é menor nos ambientes hipersalinos em razão da presença de substratos não competitivos (Zinder, 1993). Organismos que vivem em ambientes hipersalinos apresentam uma estratégia osmoadaptativa que favorece a metanogênese, isto é, possuem uma habilidade para se adaptar a diferentes concentrações externas de sais. O acúmulo de íons ( $\text{Na}^+$ ) no interior das células é prejudicial ao seu funcionamento básico, dessa forma esses íons são progressivamente substituídos por solutos orgânicos fabricados pelas próprias células. Esses solutos acumulados no interior das células de organismos que vivem em ambientes hipersalinos que vão ser utilizados como substratos pelos metanogênicos (Zinder, 1993).

### 1.3 - Macrófitas Aquáticas

A maior parte das macrófitas tem um mecanismo estrutural para evitar a anoxia das raízes. Essas respostas em ambientes alagados são mecanismos que aumentam o suprimento de oxigênio da planta. As macrófitas desenvolveram estruturas chamadas aerênquima, que são responsáveis pelo transporte de ar da porção aérea da planta até a raiz (Mitsch & Gosselink, 2000). O transporte de oxigênio nas plantas de áreas alagadas pode ocorrer por diferença do gradiente

de concentração no interior das mesmas e através de fluxo convectivo (Brix *et al.*, 1992). Tal sistema de transporte de oxigênio também é utilizado como canal de escape para o excesso de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> ao redor da raiz (Singh, 2001; Brix, 1994), como pode ser observado na figura abaixo (Figura 4).

A oxigenação na região da raiz das macrófitas é responsável pela oxidação do CH<sub>4</sub> a CO<sub>2</sub>, através da ação de bactérias denominadas metanotróficas. Essas bactérias podem estar presentes também nas camadas superficiais do sedimento ou na coluna d'água, regiões normalmente oxigenadas de acordo com a reação abaixo (Holzapfel-Pschorn *et al.*, 1986; Bosse & Frenzel, 1998; Berner & Berner, 1996).



**Figura 4 - Esquema dos aerênquimas em macrófitas aquáticas. (A) Caminhos percorridos pelos gases através do aerênquima das plantas (Fonte: Joabson *et al.*, 1999). (B) Representação dos sistemas de canais por onde o ar entre e sai das macrófitas (Fonte: Brix, 1994).**

A macrófita *Typha domingensis*, que é conhecida no Brasil como “Taboa”, é uma monocotiledônia que pertence à família Typhaceae. Possui características de plantas terrestres, com uma grande rigidez das folhas, de forma que estas ficam eretas fora d'água (Branco, 1978). Desenvolve-se normalmente em bancos monoespecíficos, e reproduz-se através de semente de propagação vegetativa de rizomas persistentes (Maio e Sklar, 1998). Caracteriza-se como uma planta que está adaptada a ambientes perturbados e ricos em nutrientes (Lorenzen *et al.*, 2001). Segundo (Mistch & Gosselink, 2000), a *Typha domingensis* assume um

papel de destaque em áreas alagadas eutrofizadas, uma vez que pode beneficiar-se com o excesso de nutrientes, dada sua capacidade de absorção e estocagem.

## **2 - HIPÓTESES DE TRABALHO**

Para desenvolvimento do trabalho foram formuladas as seguintes hipóteses:

- A concentração de  $\text{CH}_4$  encontrada na coluna d'água da lagoa do Vigário que é impactada por efluentes domésticos, é maior, uma vez que nesta lagoa não há limitação de substrato orgânico para metanogênese.

- A concentração de metano é maior nas lagoas de estudo no período chuvoso, uma vez que esta estação caracteriza-se por fatores que potencializam a produção do gás como: o aumento da temperatura ambiente, maior aporte de matéria orgânica, aumento da coluna d'água, e conseqüentemente, maior atividade microbiana.

## **3 - OBJETIVOS**

### **3.1 - Objetivo Geral**

O objetivo desse estudo foi avaliar a concentração de  $\text{CH}_4$  na coluna d'água de duas lagoas com diferentes graus de contaminação por efluentes domésticos, em dois períodos pluviométricos: seco e chuvoso, e avaliar a importância da *Typha domingensis* no ciclo do metano, usando como suporte dados presentes na literatura atual.

### **3.2 - Objetivos Específicos**

- Avaliar as concentrações de  $\text{CH}_4$  em áreas alagadas submetidas a distintas influências antropogênicas: lagoa do Vigário e lagoa de Cima;

- Avaliar as concentrações de  $\text{CH}_4$  em áreas com presença e ausência de macrófita na lagoa do Vigário;

- Investigar a variação temporal na concentração de  $\text{CH}_4$  nas duas lagoas em questão.

## **4- MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 - Área de Estudo**

O município de Campos dos Goytacazes está situado na região norte do estado do Rio de Janeiro, sendo o mais populoso dessa região, e dista 286 Km da capital do Estado. A área urbana do município está situada nas coordenadas geográficas 21°45'15" de latitude sul e 41°19'28" de longitude oeste de Greenwich (Feema, 1993).

A região norte Fluminense, assim como todo o Estado, possui um clima bem definido, com um padrão de variação térmica e pluviométrica bem marcados ao longo do ano. Os maiores índices de precipitação ocorrem, normalmente, entre setembro e janeiro, e picos secundários nos meses de março e abril. Os índices pluviométricos são tipicamente inferiores a 1000 mm/ano e as temperaturas médias na cidade de Campos dos Goytacazes abrangem o intervalo entre 15,9 °C e 32 °C (Feema, 1993). A partir da variação sazonal da temperatura é possível distinguir dois períodos climáticos na região: o primeiro que caracteriza o verão e estende-se de outubro a abril, com temperaturas médias superiores a 25 °C; o segundo, o inverno, estende-se de maio a setembro, com um clima mais ameno e temperaturas médias superiores a 19 °C (INMET, Estação - Campos).

#### **4.1.1 - Lagoa do Vigário**

A lagoa do Vigário localiza-se nos bairros Guarus e Parque Prazeres, ambos situados no município de Campos dos Goytacazes – RJ (21° 46' 15" S, 41° 19' 28" W). Apresenta uma área total de aproximadamente 0,3 Km<sup>2</sup>, dividida por um aterro realizado para construção de uma rodovia. A lagoa do Vigário possui um intenso desenvolvimento marginal devido à população humana circundante. Tal urbanização justifica o aterramento de grande parte de suas margens, o que diminuiu as áreas alagáveis do sistema, bem como caracteriza a mesma como um corpo d'água receptor de efluentes domésticos advindos das moradias que se instalaram nessa região (Lannes, 2002).

A lagoa do Vigário é densamente colonizada por bancos de macrófitas aquáticas emergentes (*Typha domingensis*), e flutuantes (*Eichhornia crassipes*)

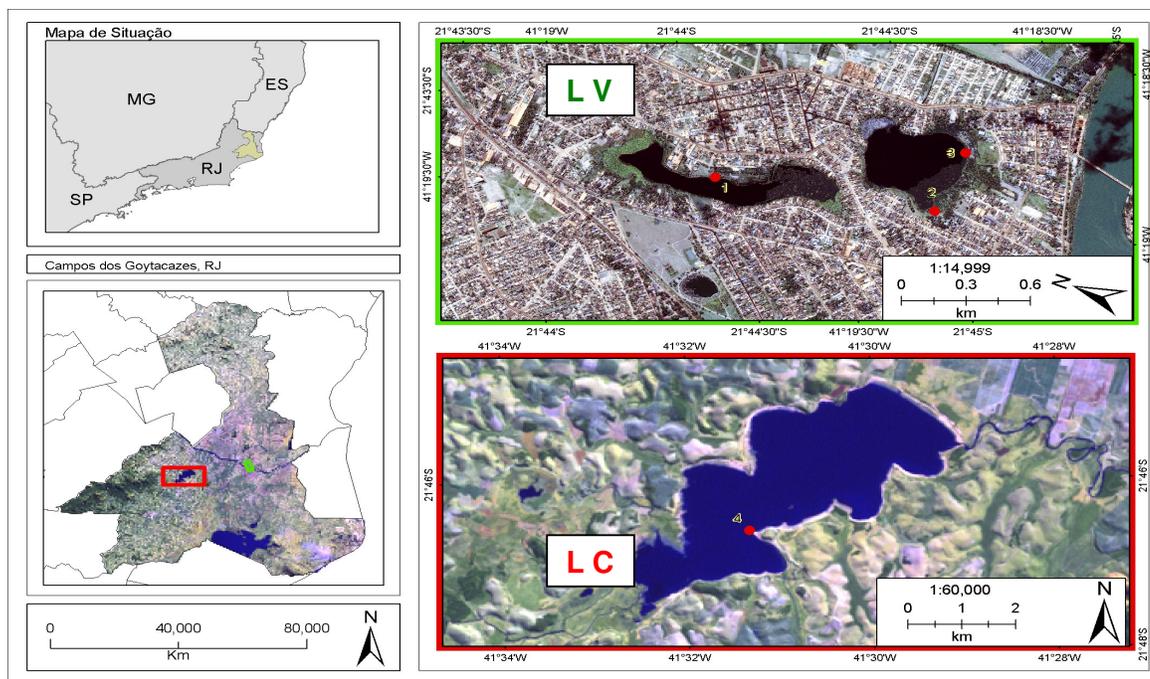
que é uma espécie móvel que forma um extenso aglomerado que migra na lagoa de acordo com a predominância dos ventos (Lannes, 2004).

#### **4.1.2 - Lagoa de Cima**

A lagoa de Cima, possui aproximadamente 15 Km<sup>2</sup> de área e apresenta em média 4m de profundidade (Rezende *et al.*, 2006). Está localizada na porção norte do Estado do Rio de Janeiro nas coordenadas geográficas 21º 45' 23" de latitude sul e 41º 19' 49" de longitude oeste de Greenwich. A bacia de drenagem da lagoa é caracterizada por dois rios principais: o rio Imbé e o rio Urubu, que representam 76% e 18% da área da bacia de drenagem, respectivamente. A lagoa de Cima deságua no canal Ururaí, que tem uma conexão direta com a Lagoa Feia. A Bacia Hidrográfica que abrange a lagoa em questão compreende os municípios de Campos dos Goytacazes, Santa Maria Madalena e Trajano de Moraes (Rezende *et al.*, 2006).

Com cerca de 10% da Mata Atlântica original ainda preservada no Estado do Rio de Janeiro, a região da Serra do Imbé possui uma área significativa no Norte Fluminense, localizada na área do Parque Nacional do Desengano, com aproximadamente 22.400 ha. O plantio de monocultura de cana-de-açúcar substituiu quase que totalmente a área desmatada, seguida em menor proporção por atividades pecuárias (Gama *et al.*, 1995).

Por está situada em uma região ausente de fontes industriais e com uma baixa densidade populacional, a lagoa de Cima sustenta um importante papel sócio-econômico para a região, servindo como área de lazer e uma das fontes de alimentação para a população ribeirinha que consome basicamente o pescado oriundo do seu corpo hídrico (Rezende *et al.*, 2006). As lagoas de estudo, Vigário e de Cima estão representadas abaixo (Figura 5).



**Figura 5 - Mapa de localização das lagoas de estudo Vigário e de Cima. Os pontos marcados nas lagoas representam os locais de amostragem. Na lagoa do Vigário as coletas foram realizadas na Chácara da Lagoa (1), e Secretaria de Meio Ambiente (2 e 3). Na lagoa de Cima as coletas foram realizadas próximas ao late Clube (4).**

## 4.2 - Estratégias de Coleta

### 4.2.1 - Estratégias Inicialmente Testadas

#### - Uso de Câmaras Bentônicas

Inicialmente a proposta do trabalho era a medida do fluxo de  $\text{CH}_4$  atmosférico proveniente da coluna d'água, utilizando-se câmaras bentônicas. Em função da baixa reprodutibilidade dos resultados obtidos, provavelmente pela dificuldade na obtenção de um sistema homogêneo, não foi possível em um curto espaço de tempo a viabilização técnica do emprego dessas câmaras. A partir daí, optou-se pela determinação da concentração de  $\text{CH}_4$  na coluna d'água.

#### - Coletas de Água de Superfície e Fundo para Medida de Metano

Durante as coletas foram tomadas amostras de água de superfície e fundo com o objetivo de avaliar o grau de heterogeneidade da coluna d'água que

compunha o sistema. Uma vez que não foi observada diferença significativa (Mann-Whitney -  $p > 0,05$ ) entre as concentrações de metano nas amostras de água em diferentes profundidades nas duas lagoas (Anexos 6, 7, 13 e 14), optou-se pela coleta de amostras de superfície. Lannes (2002) em seu estudo realizado nesta mesma lagoa (Vigário) também não observou diferenças limnológicas entre profundidades distintas.

#### **4.2.2 - Estratégias Adotadas neste Trabalho**

Para testar as hipóteses do presente estudo foram realizados os seguintes procedimentos:

##### **- Escolha das Áreas de Estudo**

O critério de escolha das lagoas de estudo foi baseado nas diferentes taxas de eutrofização observadas nos dois ecossistemas, segundo trabalhos desenvolvidos anteriormente. A lagoa do Vigário caracteriza-se por grande aporte de descarga de esgoto doméstico, uma vez que está localizada na área urbana do Município de Campos dos Goytacazes – RJ (Lannes, 2002), ao contrário da lagoa de Cima que não apresenta influências antropogênicas significativas (Pedrosa, 1999).

##### **- Concentração de CH<sub>4</sub> na Lagoa do Vigário na Presença e Ausência de *Typha domingensis***

As coletas de água superficial para a avaliação da variação da concentração de metano foram realizadas na margem, em pontos de coleta definidos com presença (CM) e ausência (SM) de macrófitas na lagoa do Vigário. Esse experimento foi realizado na Chácara da Lagoa (CL). Todas as coletas foram realizadas entre as 10 e 12h, nos meses de junho e julho de 2006 (Figura 6 e7).

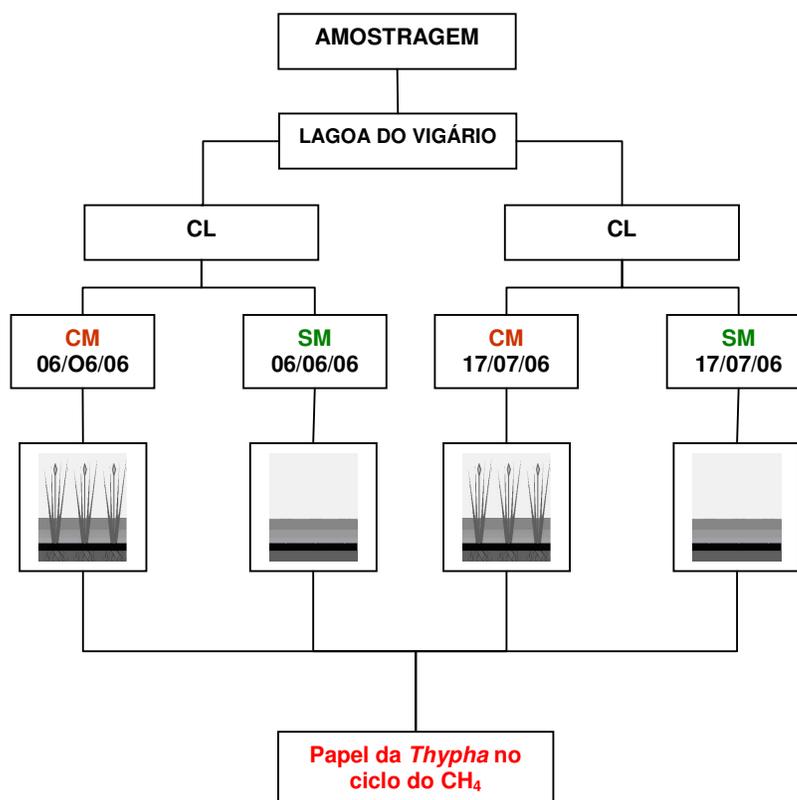


Figura 6 - Fluxograma explicativo dos passos metodológicos adotados para coleta na presença e ausência da *Typha domingensis* na Lagoa do Vigário.



Figura 7 - Banco amostral de *Typha domingensis* na Chácara da Lagoa

**- Variação Temporal da Concentração de Metano nas duas Lagoas de Estudo na Ausência de *Typha domingensis*.**

As coletas foram realizadas nos períodos seco (inverno) e chuvoso (verão) (Figura 8). No período seco as coletas aconteceram nos meses de maio e junho de 2006, na lagoa do Vigário, com uma coleta a cada mês. A primeira coleta foi realizada na Secretaria de Meio Ambiente (SMA), e a seguinte aconteceu na Chácara da Lagoa (CL). Na lagoa de Cima foi realizada uma coleta no período seco, no mês de agosto de 2006, próximo ao Iate Clube (IC).

No período chuvoso, foram realizadas duas coletas no mês de novembro de 2006 em cada lagoa de estudo. Na lagoa do Vigário uma coleta foi realizada na Secretaria de Meio Ambiente e outra na Chácara da Lagoa. Na lagoa de Cima as coletas foram realizadas no mesmo ponto onde foram coletadas as amostras no período seco. Todas as coletas foram realizadas entre as 10 e 12h (Figura 8).

Além da coleta de amostras de água superficial para determinação de metano, foram tomadas amostras de água para a determinação dos parâmetros físico-químicos: pH, Eh, temperatura, condutividade, oxigênio dissolvido,  $CO_{2T}$  e alcalinidade. Foi mensurado também o teor de matéria orgânica no sedimento, além da realização do teste para determinação das taxas de coliformes fecais e totais na água, com o objetivo de avaliar o grau de ações antrópicas nas lagoas de estudo.

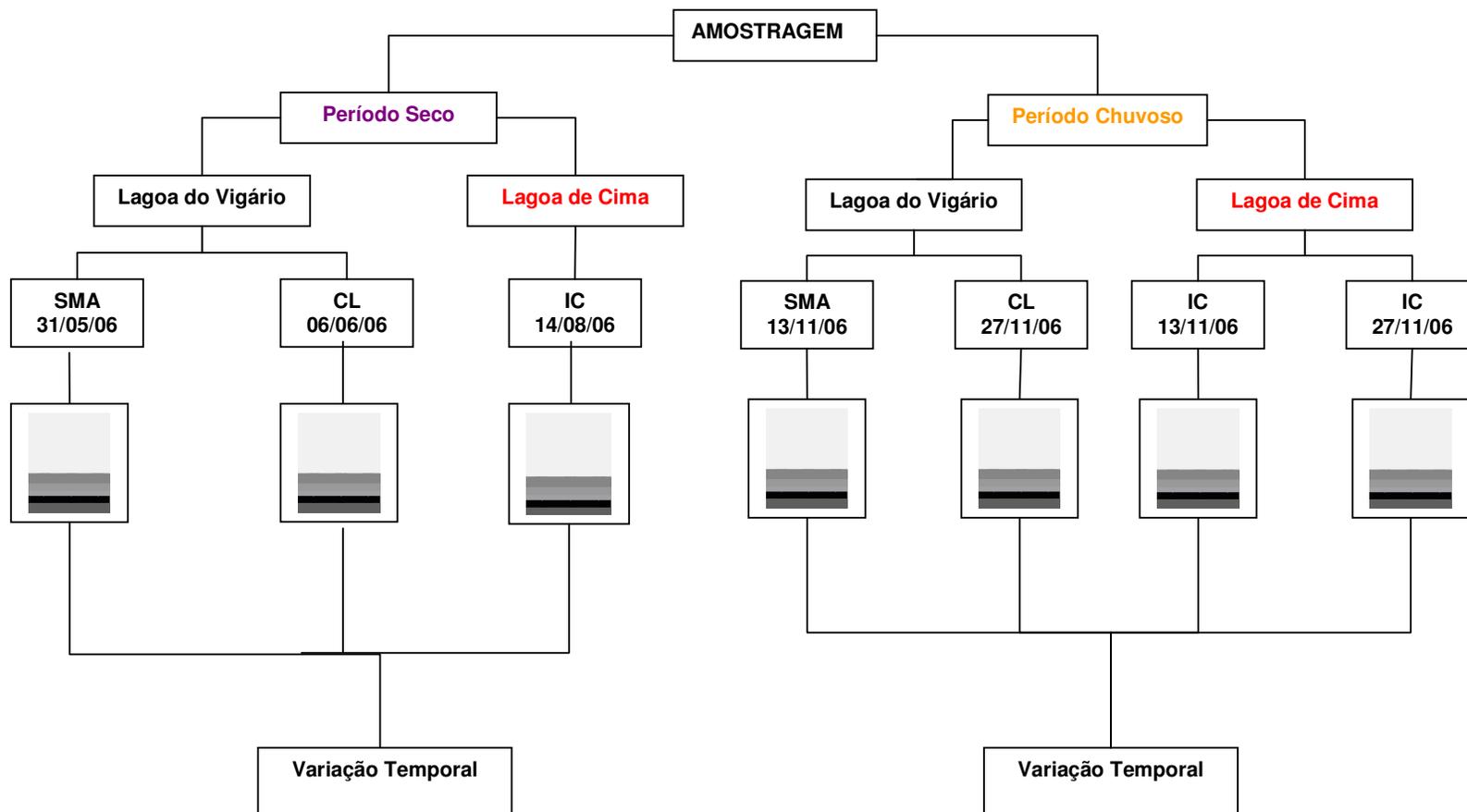
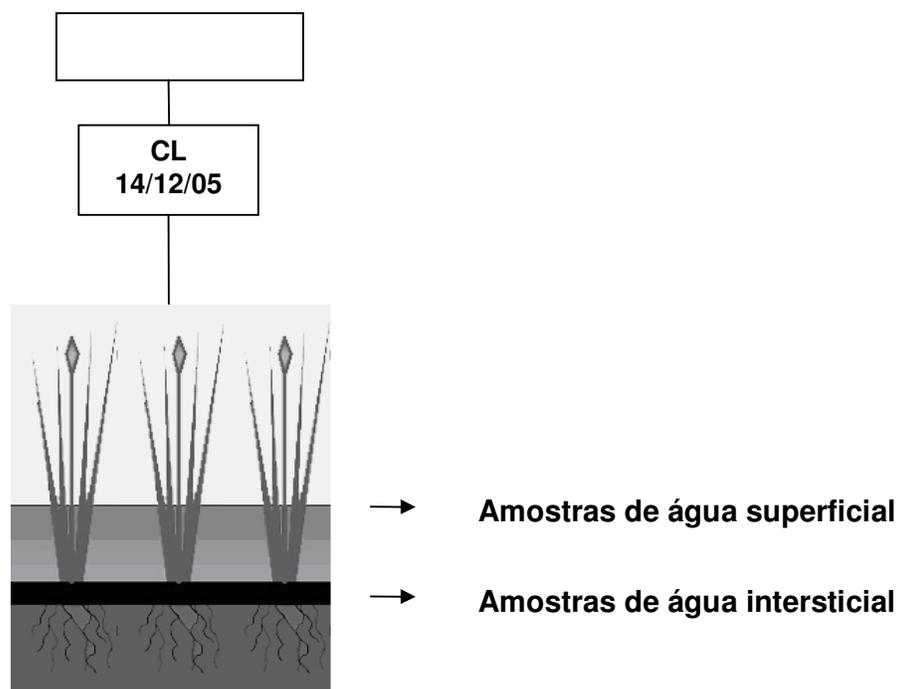


Figura 8 - Fluxograma explicativo dos passos metodológicos aplicados para as coletas realizadas na lagoa de Cima e Vigário para variação temporal.

### - Teste da Variação da Concentração de Metano na Água Superficial e Intersticial do Sedimento da Lagoa do Vigário

Para avaliar a variação da concentração de metano nos diferentes compartimentos que compõem o sistema, foi realizado um experimento em 14 de dezembro de 2005 em um banco de *Typha domingensis* na lagoa do Vigário (CL), onde amostras de água superficial e intersticial foram coletadas para a determinação da concentração de metano. Para a coleta da água do sedimento foram utilizados coletores de água intersticial a vácuo em superfície de porcelana. O objetivo desse experimento foi verificar se havia diferença na concentração de metano entre os diferentes compartimentos do sistema (Figura 9).



**Figura 9 - Fluxograma explicativo dos passos metodológicos adotados para avaliar a concentração de  $\text{CH}_4$  nos diferentes compartimentos do sistema na Lagoa do Vigário.**

### - Avaliação do Papel da *Typha domingensis* no Ciclo do Metano

Para avaliar o papel da macrófita *Typha domingensis* no ciclo do metano foi realizado um experimento em janeiro de 2007 na lagoa do Vigário (SMA) (Figura 10). Neste campo foram coletadas amostras de água superficial para determinação da concentração de metano em diferentes situações.

As amostras foram tomadas em um banco de macrófita (CM), cuja área representativa para cada experimento foi de aproximadamente 3 m<sup>2</sup>, observando-se duas situações distintas: (1) o banco foi cortado 5 cm abaixo do nível d' água (CAb); (2) o banco foi cortado 5 cm acima do nível d' água (CAc). Paralelamente foi feita uma coleta em um ponto sem macrófita (SM), que serviu como controle juntamente com a área (CM). O corte nas macrófitas foi realizado 24h antes do momento da coleta. O objetivo do experimento foi observar se a poda das macrófitas iria interferir na concentração de metano. Uma vez que estas são apontadas por muitos autores por sua importante participação no ciclo do CH<sub>4</sub>, como já foi descrito anteriormente na introdução. As coletas foram realizadas entre as 10 e 12h (Figura 10).



Figura 10 - Banco amostral de *Typha domingensis* na Secretaria de Meio Ambiente

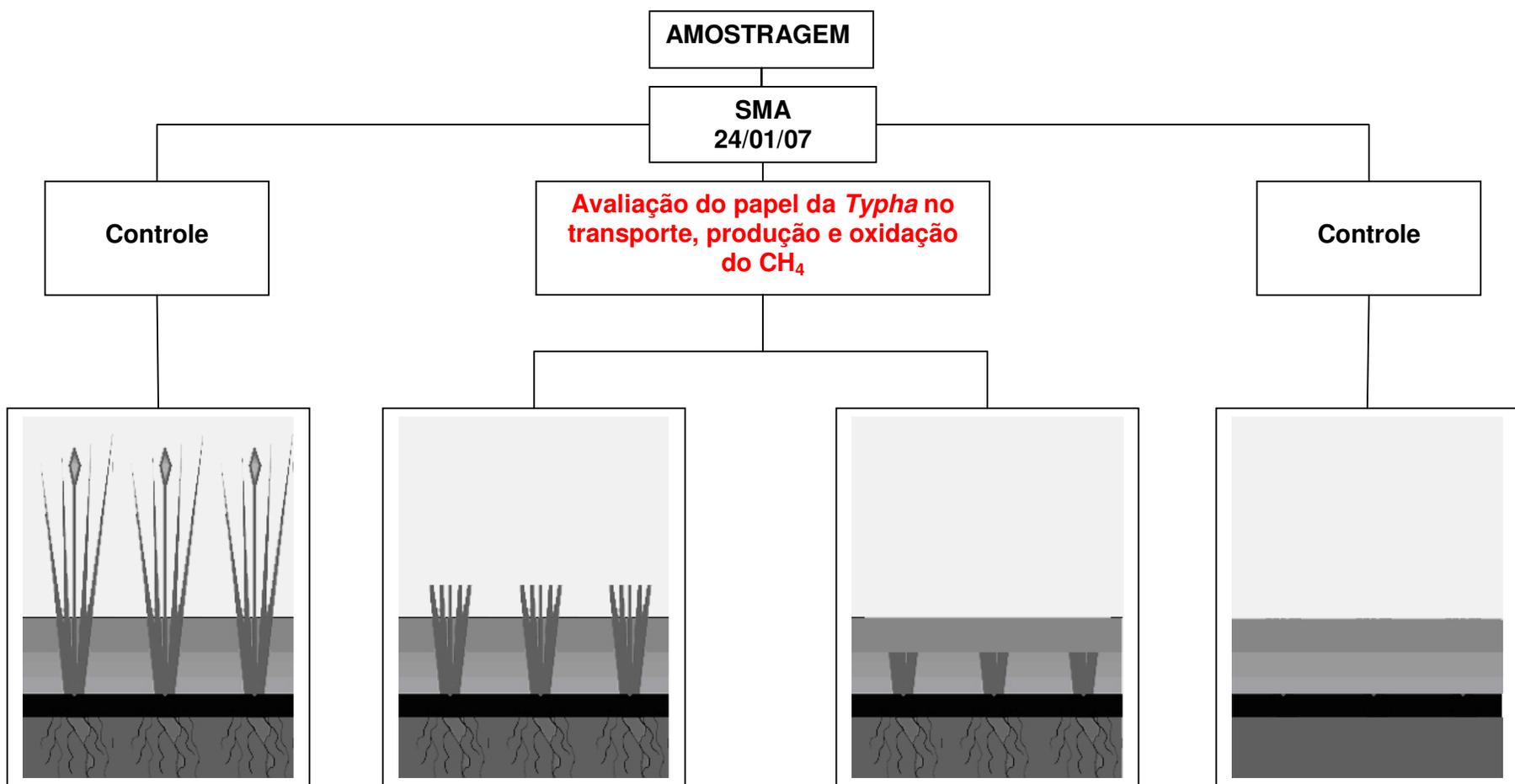


Figura 11 - Fluxograma explicativo dos passos metodológicos aplicados para as coletadas realizadas na lagoa do Vigário para realização do experimento com a *Typha domingensis* para avaliar seu papel no ciclo do metano.

É importante ressaltar que as macrófitas nesse ponto não estavam fixadas ao sedimento; estas formavam uma ilha através do acúmulo de sua própria biomassa, onde se encontravam estabilizadas. Além da coleta de amostras de água para determinação de metano na água superficial, foram coletadas amostras para determinação dos parâmetros físico-químicos como, pH, Eh, temperatura, condutividade, oxigênio dissolvido,  $\text{CO}_{2T}$  e alcalinidade.

### **4.3 - Tratamento das Amostras**

#### **4.3.1 - Procedimentos Realizados no Campo**

Em cada lagoa, foi realizada em um mesmo ponto a coleta de três sub-amostras, porém em determinados momentos esse número variou até 5 sub-amostras. Essa variação ocorreu nas primeiras coletas na lagoa do Vigário quando a metodologia ainda estava sendo ajustada. Para determinar as concentrações de metano na água, 5 réplicas (em alguns momentos foram tomadas 10 réplicas) de 6mL de água foram coletadas com auxílio de uma seringa plástica e transferidas para um frasco de vidro de 13mL, previamente vedado com um septo de borracha e silicone, e com vácuo. Cada frasco continha 1,2g de NaCl (20%), que tem a função de expulsar o metano dissolvido na água para a atmosfera interna do frasco (*headspace*), segundo a metodologia proposta por Casper (1992).

Antes da coleta no campo, no laboratório era introduzido em cada um dos frascos o sal, então estes eram vedados com septo de borracha envolvido com PVC, com o objetivo de gerar mais aderência entre o frasco e o septo, promovendo uma melhor vedação. Em seguida era feito vácuo em cada frasco com o auxílio de uma seringa plástica e então introduzido silicone vedante em gel sobre o septo de borracha.

Após a coleta, os frascos com as amostras foram devidamente acondicionados em posição invertida (“ponta cabeça”) em isopor com gelo para serem transportados para o Laboratório de Ciências Ambientais (LCA-UENF), para a determinação de metano dissolvido através da técnica de cromatografia gasosa, utilizando-se um cromatógrafo CG - 14B Shimadzu. As amostras eram analisadas no dia seguinte a coleta, nesse intervalo de tempo eram acondicionadas em geladeira.

Uma vez coletadas as amostras para determinação de metano, foram obtidas as medidas de temperatura, pH, Eh, condutividade e O<sub>2</sub> dissolvido. As determinações de temperatura e condutividade foram realizadas através do aparelho de condutividade digital e portátil, modelo WTW LF 96; o pH e Eh foram determinados através de um potenciômetro digital e portátil modelo Digimed DM-PV; o O<sub>2</sub> dissolvido foi determinado através de um medidor digital e portátil modelo Horiba OM -14. Paralelamente foram coletadas amostras de água para determinação no laboratório, dos valores de alcalinidade, CO<sub>2T</sub> e coliformes fecais.

Para a determinação de coliforme total e fecal, foram coletadas amostras de água de superfície das lagoas com frascos de vidro previamente esterilizados em autoclave. Para a determinação de matéria orgânica o sedimento foi coletado com a utilização de uma pá e acondicionado em saco plástico. Em seguida foi transportado até o laboratório e congelado até o dia da análise.

#### **4.3.2 - Procedimentos Realizados no Laboratório**

##### **- CH<sub>4</sub>**

1 mL da amostra de mistura gasosa de cada frasco era introduzida no cromatógrafo CG - 14B Shimadzu, com um detector de ionização em chama (FID) e coluna empacotada Porapak-Q (Casper, 1992; Parashar et al., 1996; Sing et al., 2000; Chang e Yang, 2003; Sing et al., 2003; Ding et al., 2004), para isolamento e quantificação do metano. Para realização da análise foi mantida as seguintes condições do equipamento: temperatura da coluna = de 60 °C; temperatura do injetor = 120 °C; temperatura do detector = 200 °C; o gás de arraste = nitrogênio; tempo de residência médio do pico do metano = 0,65 s.

Previamente à introdução da amostra de gás no cromatógrafo era feita a calibração do aparelho com a utilização de padrões de metano de concentrações de 1ppmV, 5ppmV e 10ppmV, respectivamente. Após feita a curva padrão as amostras eram introduzidas no cromatógrafo. Cada amostra introduzida apresentava um pico de concentração de metano, com uma respectiva área. A partir dessa área foi calculada a concentração de CH<sub>4</sub> para cada pico utilizando-se a equação da curva padrão. As concentrações de metano do presente estudo são apresentadas com unidade de medida em μmol.L<sup>-1</sup>, porém as concentrações obtidas a partir da curva tinham como unidade de medida ppmV. Logo os valores

obtidos a partir da curva padrão eram divididos por 22,4 (eq. 9) para apresentarem as concentrações em  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ . Em seguida era feita uma correção da concentração de metano para cada frasco. O valor obtido em  $\mu\text{mol.L}^{-1}$  a partir da curva padrão era multiplicado pelo volume da atmosfera do frasco (*headspace*) e dividido pelo volume de água presente no frasco (eq. 10).

$$[\text{CH}_4] \mu\text{mol.L}^{-1} = [\text{CH}_4] \text{ ppmV} / 22,4 \quad (\text{eq. 9})$$

$$[\text{CH}_4] \mu\text{mol.L}^{-1} \text{ por frasco} = [\text{CH}_4] \mu\text{mol.L}^{-1} \times \text{Vol (ar)} / \text{Vol (H}_2\text{O)} \quad (\text{eq. 10})$$

#### - Alcalinidade

Determinada por titulação potenciométrica com ácido clorídrico (0,1N) em titulador automático Mettler DL 21, utilizando-se 50 mL das amostras em triplicata.

#### - CO<sub>2T</sub>

A estimativa de CO<sub>2T</sub> foi feita a partir das medidas de alcalinidade, temperatura e pH da água, utilizando-se o algoritimo *Carbdoce* (Carmouze, 1994).

#### - Coliformes Fecais e Totais

As determinações de coliforme total e fecal foram realizadas executando-se o teste presuntivo, que tem a função de detectar a presença de microrganismos fermentadores da lactose com produção de gás. O caldo lactosado foi preparado e esterilizado anteriormente à coleta em duas concentrações diferentes: a simples, com 13 g.L<sup>-1</sup>; e a dupla, com 26 g.L<sup>-1</sup>, acondicionados em tubo de ensaio contendo tubos de Durham, esterilizados em autoclave durante 15 minutos a 121 °C e 1 atm. Foram organizadas três séries de 5 tubos de ensaio para cada amostra, sendo a primeira série composta de 5 tubos com 10 mL de caldo lactosado de concentração dupla, enquanto as outras duas séries eram compostas de caldo lactosado simples, 5 tubos com 9,0 mL e outros 5 tubos com 9,9 mL. Foram pipetados 10 mL da amostra na primeira série de tubos, enquanto 1 mL e 0,1 mL na segunda e terceira séries, respectivamente. A leitura foi efetuada de acordo

com o volume inoculado e com o número de tubos que apresentaram gás após 48h de incubação a 37 °C. Em seguida foi realizado o teste confirmativo utilizando repicagens dos tubos positivos do teste presuntivo em soluções de caldo verde brilhante (VB) e caldo EC para quantificar coliformes totais e fecais, respectivamente. Ambas as soluções foram previamente esterilizadas em autoclave. As leituras foram realizadas após 48h de incubação em estufa a 37 °C, sendo analisadas de acordo com a tabela de Hoskins. Dessa forma eram indicados os números mais prováveis (NMP) de coliformes fecais e totais em 100 mL de amostra (Lannes, 2002).

#### **- Teor de Matéria Orgânica**

Para determinação do teor de matéria orgânica no sedimento, 2 cadinhos de porcelana foram calcinados em forno mufla a 550 °C por 1 hora como forma de eliminar toda a quantidade de matéria orgânica impregnada nos mesmos. Após resfriamento os cadinhos foram pesados em balança analítica até peso constante, com os devidos cuidados de manuseio. Nos cadinhos foram acondicionados 1 g de sedimento previamente seco em estufa de circulação a 60 °C, e em seguida a amostra calcinada em forno mufla a 550 °C por 1 hora. Após esse período o material foi posto em dessecador para esfriar e então pesados em balança analítica até peso constante para aquisição do teor de matéria orgânica (Kiehl, 1985).

#### **4.4 - Tratamento Estatístico**

- Para avaliação estatística utilizou-se os testes Kruskal-Wallis e Mann-Whitney para testar se as sub-amostras coletadas em um mesmo ponto funcionavam como réplicas ambientais.

- O Teste t de Student foi utilizado para avaliar se havia diferença de concentração de metano, entre as áreas com e sem vegetação, e entre o período chuvoso e seco em ambas as lagoas de estudo.

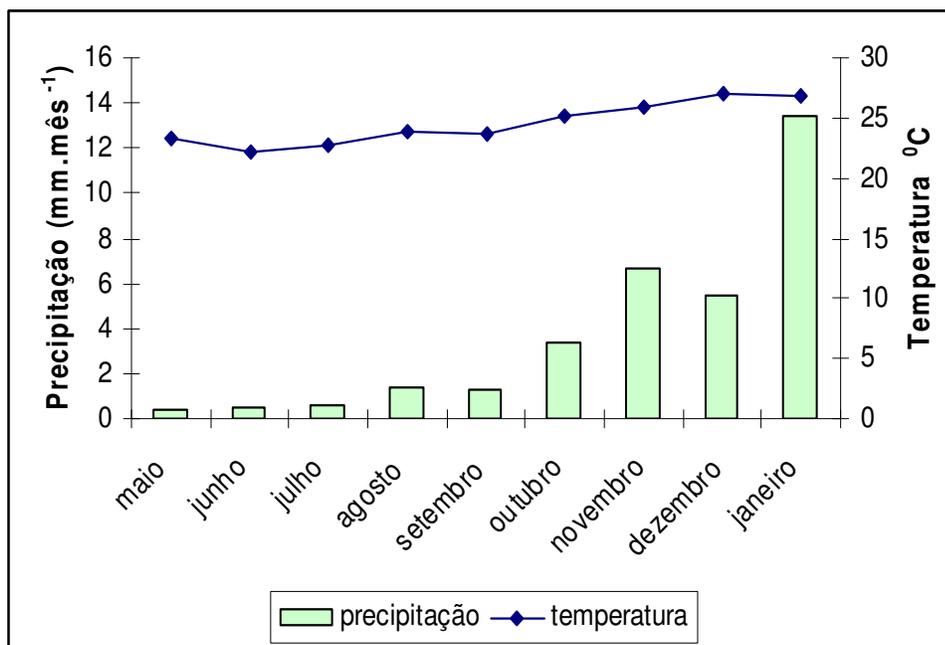
- A análise de variância de classificação simples com efeitos fixo (ANOVA "One-Way") foi usada para examinar o efeito da concentração de metano nos diferentes tratamentos realizados com a *Typha domingensis*. A Interação

significativa foi verificada à *posteriori* com teste de Tukey, usando o nível de significância de 0,05.

## 5 - RESULTADOS

### 5.1 - Clima no Período de Estudo

Ao analisar o clima no período de estudo na região do município de Campos dos Goytacazes, os dados obtidos mostram um padrão de variação térmica e pluviométrica bem marcados ao longo do período. As maiores taxas de precipitação e temperatura foram encontradas entre os meses de outubro de 2006 e janeiro de 2007, e as menores taxas foram registradas entre os meses de maio e setembro de 2006, caracterizando as estações chuvosa e seca, respectivamente (Figura 12).



**Figura 12 - Variação da temperatura e precipitação pluviométrica no município de Campos dos Goytacazes entre o período de junho de 2006 e janeiro de 2007 (Fonte: Embrapa).**

## 5.2 - Lagoa do Vigário

### 5.2.1 - Concentração de CH<sub>4</sub> na Lagoa do Vigário na Presença e Ausência de *Typha domingensis*

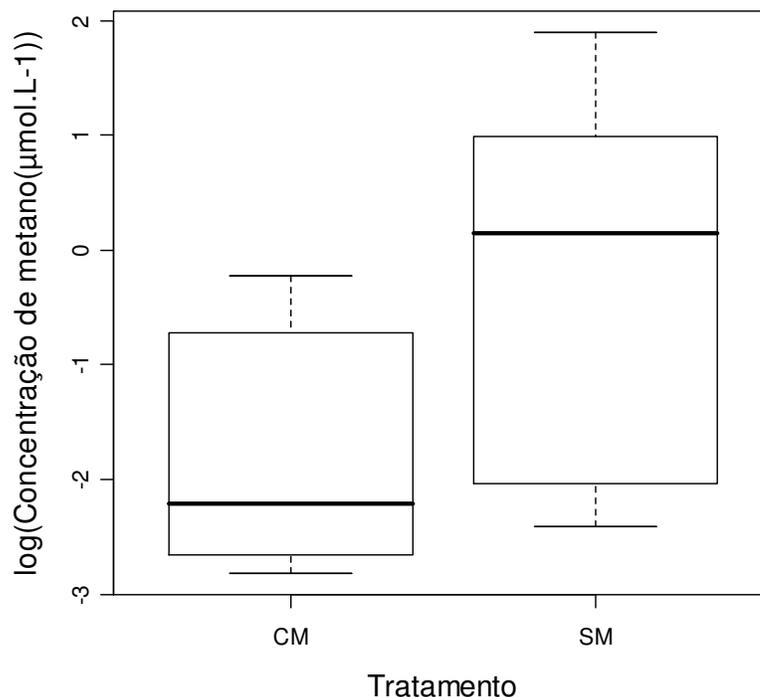
A tabela 1 apresenta os valores dos parâmetros físico-químicos e as concentrações de CH<sub>4</sub> dissolvido medidas no experimento realizado na Chácara da Lagoa em junho e julho de 2006. Os resultados apresentaram uma variação entre as áreas com e sem macrófita (Tabela 1).

**Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos e CH<sub>4</sub> dissolvido em amostras de água coletadas nos pontos com e sem macrófita na lagoa do Vigário (Chácara da Lagoa).**

Local	Chácara da Lagoa			
	CM	SM	CM	SM
Data	06/06/06		17/07/06	
Temp (°C)	23,7	23,1	22,7	25,1
pH	7,39	6,96	7,26	7,41
Eh (mV)	119	123	119	124
O <sub>2</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	7,50	6,80	7,10	8,00
Cond (µS.cm <sup>-1</sup> )	827	836	931	945
Alcalinidade (mEq.L <sup>-1</sup> )	2,69	2,77	3,14	3,15
CO <sub>2T</sub> (µmol.L <sup>-1</sup> )	2938	3472	3538	3421
CH <sub>4</sub> (µmol.L <sup>-1</sup> )	0,06 -0,63	0,09 -0,20	0,28 -0,80	1,09 -6,63

A concentração de metano na área sem macrófita variou entre (0,09 - 6,63 µmol.L<sup>-1</sup>), já na área que apresentava *Typha domingensis* a concentração encontrada esteve entre (0,06 - 0,80 µmol.L<sup>-1</sup>). A profundidade da coluna d' água na área SM variou entre (16 - 27 cm) e na área CM entre (8 - 26 cm). As amostras coletadas nos diferentes pontos não funcionaram como réplicas ambientais, o que

refletiu a grande variabilidade dos dados (Anexos 2, 3, 4 e 5). A concentração de metano na área sem macrófita diferiu significativamente ( $p < 0,05$ ) da área CM, segundo o Test t de Student (Figura 13).



**Figura 13 - Boxplot das medianas e intervalos interquartiles da variação da concentração de metano na água superficial da lagoa do Vigário na presença e ausência de *Typha domingensis* na Chácara da Lagoa.**

A concentração de metano encontrada na coluna d'água no experimento realizado no mês de julho na lagoa do Vigário apresentou concentrações superiores às registradas no mês anterior para o mesmo ponto de coleta. O valor máximo encontrado no mês de julho para área com vegetação chega a ser 21% superior ao valor máximo registrado no mês de junho (0,63 - 0,80). Já a área sem vegetação atinge uma concentração máxima superior a 97% do maior valor encontrado no mês de junho (0,20 - 6,63).

O teor de matéria orgânica encontrado no sedimento no experimento realizado em julho foi 6,5 %.

Na análise de coliformes, o resultado do teste presuntivo que estima a presença de bactérias do grupo coliforme e confirmativo que quantifica fecal e total, apresentou valores máximos para Chácara da Lagoa, onde foram realizados os experimentos em junho e julho (2400 NMP/100 mL).

### 5.2.2 - Variação Temporal da Concentração de CH<sub>4</sub> na Lagoa do Vigário

Os dados dos parâmetros físico-químicos e concentração de metano encontrados nos experimentos realizados na lagoa do Vigário na estação seca e chuvosa podem ser observados na tabela 2.

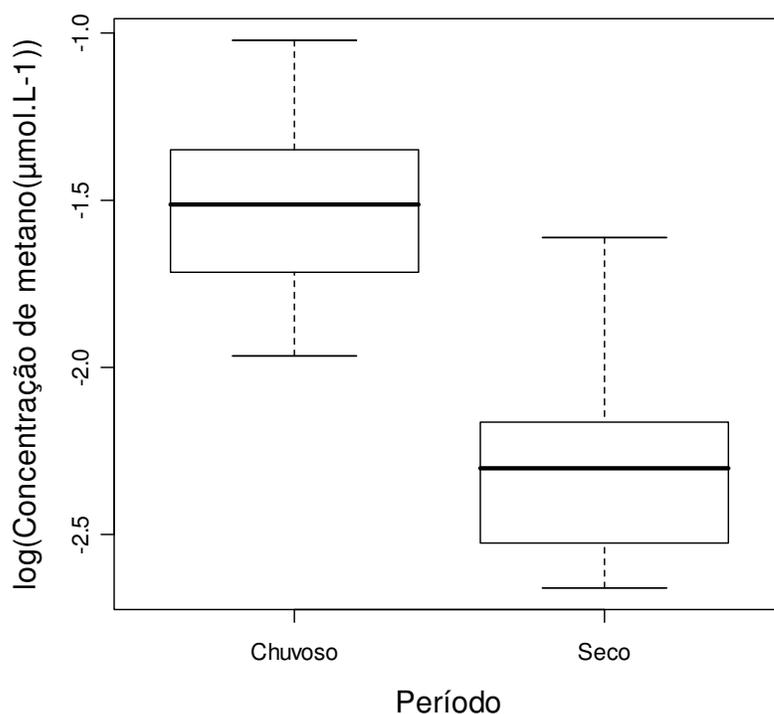
**Tabela 2 - Parâmetros físico-químicos e concentração de CH<sub>4</sub> dissolvido nos períodos seco e chuvoso na lagoa do Vigário (SMA e CL). Os parâmetros marcados (\*) não foram medidos devido a problemas no instrumental analítico.**

	SM	SM	SM	SM
Período	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso
Local	SMA	SMA	CL	CL
Data	31/05/06	13/11/06	06/06/06	27/11/06
Temp (°C)	24,7	24,0	23,1	29,0
pH	6,88	7,50	6,96	7,49
Eh (mV)	95	----*	123	----*
O <sub>2</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	7,50	----*	6,80	----*
Cond (µS.cm <sup>-1</sup> )	600	715	836	724
Alcalinidade (mEq.L <sup>-1</sup> )	1,09	2,17	2,77	2,26
CO <sub>2T</sub> (µmol.L <sup>-1</sup> )	1415	2323	3472	2411
CH <sub>4</sub> (µmol.L <sup>-1</sup> )	0,07 -0,14	0,14 -0,36	0,09 -0,20	0,14 -0,31

O intervalo de concentração de metano no período seco considerando as duas áreas amostradas variou entre 0,07 - 0,20 µmol.L<sup>-1</sup> e no período chuvoso entre 0,14 - 0,36 µmol.L<sup>-1</sup>, observando-se valores quase duas vezes maiores entre os limites superiores obtidos nos períodos amostrados. O padrão de variabilidade entre as réplicas obtidas, comparando-se os resultados entre as

áreas, mostrou valores mais homogêneos na SMA (amostras funcionaram como réplicas) em relação à CL, tanto na estação seca quanto na estação chuvosa, indicando a SMA como um ambiente possivelmente menos perturbado. Esse indicativo corrobora a grande variabilidade observada nos resultados obtidos no mês de julho na CL, optando-se pela não inclusão desses dados na discussão temporal. A profundidade da coluna d' água na SMA variou entre (35 - 40 cm) e na CL entre (16 - 35 cm).

A concentração de metano no período chuvoso foi significativamente (Teste T,  $p < 0,05$ ) maior do que os valores registrados no período seco (Figura 14) (Anexos 1, 3, 6 e 7).



**Figura 14 - Boxplot das medianas e intervalos interquartiles da variação da concentração de metano na água superficial da lagoa do Vigário sem vegetação no período seco e chuvoso.**

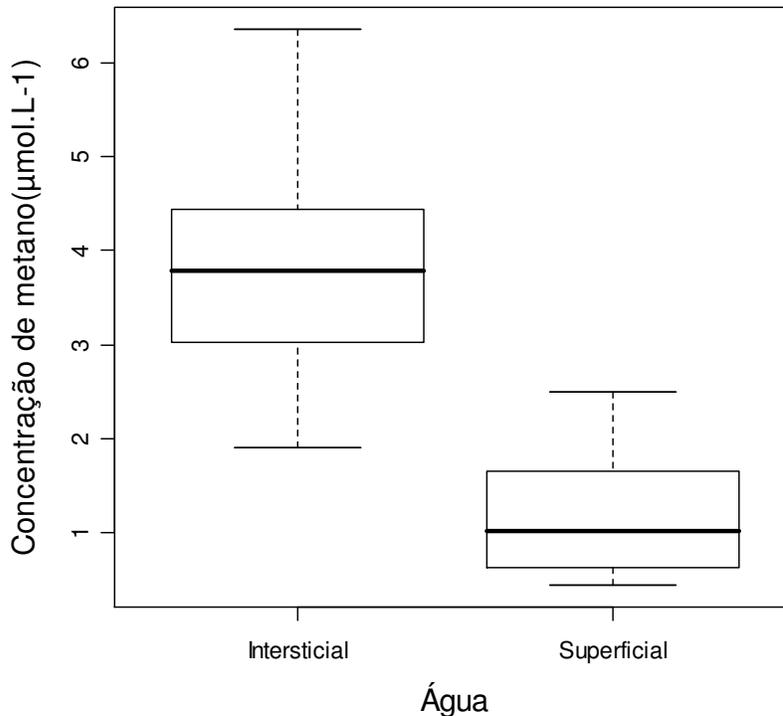
Os teores de matéria orgânica nas duas áreas de amostragem SMA e CL no período chuvoso foram 4,2 % 2,5 %, respectivamente.

O resultado do teste para análise de coliformes na SMA no período chuvoso foi o valor máximo (2400 NMP/100mL), tanto para coliformes fecais quanto para

coliformes totais. Já na CL a taxa foi de 1600 NMP/100mL para coliformes fecais e 920 NMP/100mL para coliformes totais.

### 5.2.3 - Concentração de Metano na Água Superficial e Intersticial do Sedimento da Lagoa do Vigário

Os valores encontram-se tabelados no (Anexo 15). O intervalo da concentração de metano na água superficial variou entre 0,45 e 1,89  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ , enquanto na água intersticial as concentrações encontradas mostraram valores entre 1,91 e 6,35  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ . A profundidade da coluna d'água variou entre (15 - 20 cm) e do coletor de água intersticial entre (8 - 10 cm). O Test t de Student mostrou uma diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre a concentração de metano na água superficial e na água intersticial, confirmando o substrato sedimentar como a fonte principal da produção de metano (Figura 15).



**Figura 15 - Boxplot das medianas e intervalos interquartiles da variação da concentração de metano na água superficial e intersticial da lagoa do Vigário na Chácara da Lagoa em um banco de *Typha domingensis*.**

### 5.3 - Lagoa de Cima

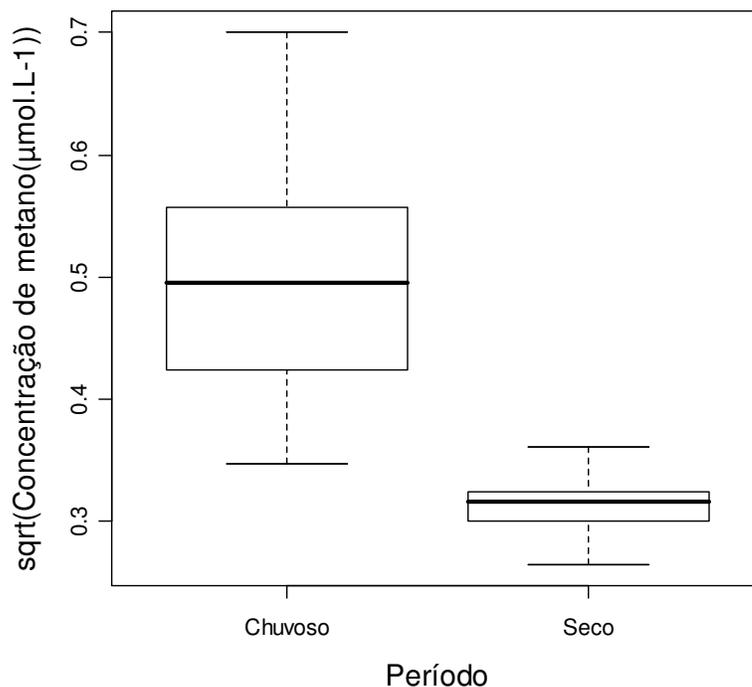
#### 5.3.1 - Variação Temporal da Concentração de CH<sub>4</sub>

Os valores dos parâmetros físico-químicos encontrados na lagoa de Cima nos campos realizados no período seco e chuvoso podem ser observados na tabela 3.

**Tabela 3 - Parâmetros físico-químicos e concentração de CH<sub>4</sub> nos períodos seco e chuvoso na lagoa de Cima próximo ao late Clube. Os parâmetros marcados (\*) não foram medidos devido a problemas no instrumental analítico.**

	SM	SM	SM
Período	Seco	Chuvoso	Chuvoso
Data	14/08/06	13/11/06	27/11/06
Temp (°C)	25,4	24,8	30,0
pH	6,34	6,70	6,80
Eh (mV)	233	----*	----*
Cond (µS.cm <sup>-1</sup> )	41,2	39,2	32,4
Alcalinidade (mEq.L <sup>-1</sup> )	0,12	0,13	0,10
CO <sub>2T</sub> (µmol.L <sup>-1</sup> )	243	188	133
CH <sub>4</sub> (µmol.L <sup>-1</sup> )	0,07-0,13	0,12 -0,49	0,14-0,43

A concentração de metano encontrada na lagoa de Cima foi maior no período chuvoso (0,12 - 0,49 µmol.L<sup>-1</sup>) quando comparada ao período seco (0,07 - 0,13 µmol.L<sup>-1</sup>), diferença essa ratificada pelo teste t ( $p < 0,05$ ), com um nível de significância de 95% (Figura 16). Além disso, foi observado estatisticamente que os valores analíticos encontrados nos dois períodos de coleta definiram as amostras como réplicas ambientais (Anexos 12 13 e 14). As amostras foram coletadas em uma profundidade que variou entre (21 - 23 cm) no período seco, e entre (45 - 50 cm) no período chuvoso.



**Figura 16 - Boxplot das medianas e intervalos interquartiles da variação da concentração de metano na água superficial da lagoa de Cima no período seco e chuvoso.**

No período chuvoso, nas coletas realizadas nos dias 13 e 27 de novembro, os valores encontrados para o teor de matéria orgânica foram 1 e 2%, respectivamente.

Na análise de coliformes os resultados obtidos na lagoa de Cima na coleta realizada no período seco foi de 21 NMP/100mL para coliformes fecais e 130 NMP/100mL para coliformes totais. No período chuvoso o valor encontrado para coliformes fecais foi de 4,5 NMP/100mL e 7,8 NMP/100mL para totais no dia 13 de novembro. No dia 27 do mesmo mês os valores encontrados foram 17 NMP/100mL para coliformes fecais e 22 NMP/100mL para coliformes totais.

#### 5.4 - Avaliação do Papel da *Typha domingensis* no Ciclo do Metano

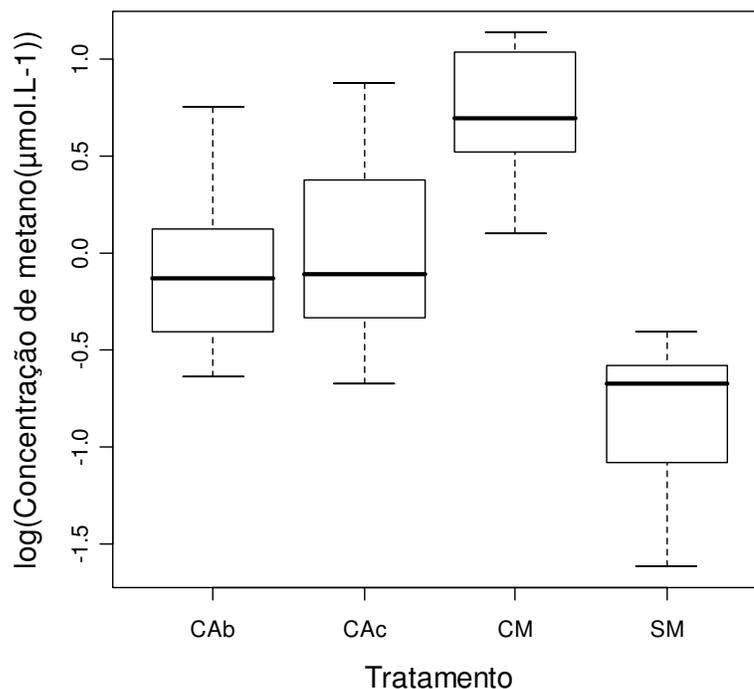
A tabela 4 apresenta os parâmetros físico-químicos e a concentração de CH<sub>4</sub> dissolvido na água, como resultado dos tratamentos realizados com a macrófita *Typha domingensis* na Secretaria de Meio Ambiente (lagoa do Vigário) em 24/01/07.

**Tabela 4 - Parâmetros físico-químicos e concentração de CH<sub>4</sub> dissolvido na água superficial da lagoa do Vigário nos diferentes tratamentos realizados com a macrófita *Typha domingensis*.**

Secretaria de Meio Ambiente				
	CM	SM	CAC	CAB
Temp (°C)	26,4	27,0	26,8	26,7
pH	6,90	7,07	7,14	7,06
Cond (µS.cm <sup>-1</sup> )	479	473	472	480
Alcalinidade (mEq.L <sup>-1</sup> )	1,61	1,63	1,61	1,60
O <sub>2</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	2,2	4,2	2,4	2,6
Eh (mV)	119	131	99	96
CO <sub>2T</sub> (µ mol . L <sup>-1</sup> )	2057	1933	1865	1905
CH <sub>4</sub> (µmol.L <sup>-1</sup> )	1,11-3,11	0,20-0,67	0,51-2,40	0,53-2,13

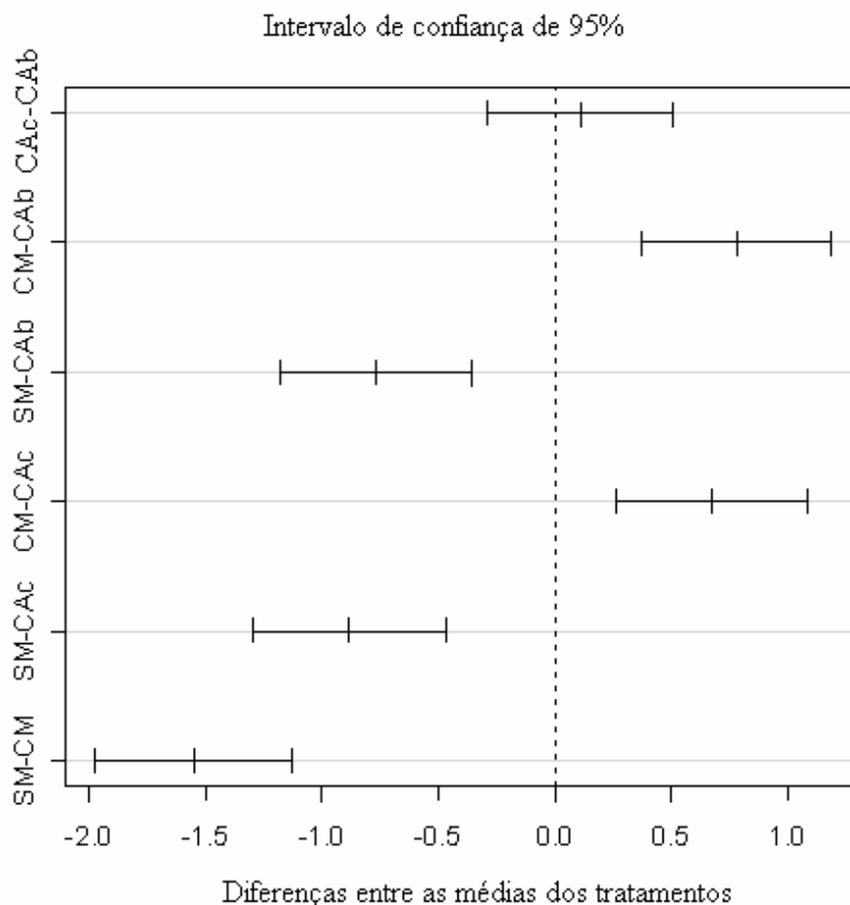
O experimento mostrou valores diferenciados para os tratamentos utilizados, observando-se a seguinte distribuição: CM > CAC > CAB > SM. As maiores diferenças foram observadas entre as áreas com e sem macrófitas, acentuando o papel da *Typha domingensis* na produção de metano, e indicando pequenas variações entre as duas condições de corte, embora o conjunto de dados que representam a condição CAB aparentemente seja mais robusto, uma vez que as alíquotas estatisticamente funcionaram como réplicas (Anexos 8, 9, 10 e 11).

As amostras foram coletadas em uma coluna d' água de 1,5 m de profundidade. Entre os diferentes tipos de tratamento avaliados houve uma diferença significativa (ANOVA, p < 0,05), nas taxas de concentração de metano na água de superfície (Figura 17).



**Figura 17 - Boxplot das medianas e intervalos interquartiles da variação da concentração de metano na água superficial da lagoa do Vigário, no experimento realizado na Secretaria de Meio Ambiente com a macrófita *Typha domingensis*.**

Para avaliar quais tratamentos são responsáveis pela diferença significativa, foi realizado à *posteriori* o teste Tukey HSD de comparações múltiplas. Segundo esse teste quando os limites de confiança sobrepõem-se ao 0 (zero), não existe uma diferença significativa estatisticamente (ao nível de significância desejado), ao passo que se o intervalo de confiança não inclui o 0, a diferença é significativa. Segundo o teste Tukey HSD todas as comparações entre os diferentes tratamentos apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ), com exceção da área onde as macrófitas foram podadas acima e abaixo da água superficial, que não foram diferentes significativamente ( $p > 0,05$ ) (Figura 18).



**Figura 18 - Intervalos de confiança para comparações múltiplas entre os diferentes tipos de tratamentos no experimento realizado com *Typha domingensis* na Secretaria de Meio Ambiente.**

## 6 - DISCUSSÃO

### 6.1 - Lagoa do Vigário

#### 6.1.1 - Concentração de CH<sub>4</sub> na Lagoa do Vigário na Presença e Ausência de *Typha domingensis*

Variáveis limnológicas como pH, temperatura, potencial redox e parâmetros que caracterizam a matriz sedimentar como o teor de matéria orgânica, têm sido avaliados em alagados e corpos d' água (Brix, 1996; Singh *et al.*, 2000; 2001;

Chang & Yang, 2003; Wang & Han, 2005; Sing *et al.* 2005) e fortemente citados por apresentar uma relação com as taxas de emissão de metano. Nos experimentos realizados nas áreas CM e SM, os parâmetros físico-químicos de forma geral, não apresentaram uma variação expressiva entre os diferentes pontos amostrados, de maneira que estes não parecem ser os principais fatores da dinâmica do CH<sub>4</sub> nas áreas em questão. Esta particularidade pode ser devido ao tipo de estratégia de coleta utilizada nos experimentos que não apresentou um número amostral suficiente para observação da relação direta da concentração de metano com os parâmetros físico-químicos. No presente estudo a concentração de CH<sub>4</sub> encontrada na margem da lagoa em um banco de *Typha domingensis* na Chácara da Lagoa, foi significativamente menor que a área sem macrófita neste mesmo ponto. Este resultado corrobora os dados encontrados em amostras de sedimento, água e *Typha* em experimentos envolvendo alagados construídos da lagoa do Vigário (Santos, 2007). Tal resultado sugere que a *Typha domingensis* participa de alguma maneira no ciclo do metano. Esta pode estar atuando como agente oxidativo de uma parcela do metano produzido no sedimento, assim como na emissão direta de gases estufa via aerênquima da planta. A influência de plantas aquáticas no ciclo do metano tem sido avaliada em alagados e corpos d' água (Brix *et al.*, 1996; 2001; Singh *et al.*, 2000; 2001; Kaki *et al.*, 2001; Ding, 2002; 2005; Fonseca, 2004; Duan *et al.*, 2005; Hirota, 2005; Wang & Han, 2005; Cronin *et al.*, 2006) observando-se um consenso entre os autores de que as macrófitas têm um papel fundamental nos processos de produção, oxidação e transporte do metano do sedimento para atmosfera. Segundo Bosse & Frenzel (1998), um percentual entre 30 e 90% do metano produzido em ambientes anaeróbicos é oxidado antes de alcançar a atmosfera. Dessa maneira, a presença das macrófitas possibilita o transporte do CH<sub>4</sub> do sedimento para atmosfera via planta, o que favorece a não oxidação deste na coluna d' água (Popp *et al.*, 2000).

As amostras coletadas no período seco (mês de julho) apresentaram um intervalo de concentração diferente do encontrado no mês de junho para o mesmo ponto de coleta (CL). As amostras de concentração de metano na área SM apresentaram valores até 97% maiores que o valor máximo registrado no mês de junho. A margem que representa o ponto de coleta na Chácara da Lagoa é caracterizada tanto pelo acúmulo de materiais de origem orgânica (detritos de

macrófitas, moitas de *Typha* e árvores presentes no local) como de materiais de origem antropogênica (descargas de efluentes domésticos), além de ser uma área de pastagem de animais. É comum também a observação de grandes bancos de *Eichhornia crassipes* flutuantes nesta área da lagoa. É possível que a matéria orgânica acumulada no local ao longo do tempo, associada ao pisoteio de animais que contribuem para a perturbação do material sedimentar, sejam fortes indícios da grande variabilidade pontual na concentração de metano observada neste local e que pode ocorrer em qualquer época do ano. É provável que o processo de metanogênese esteja sendo favorecido em determinados momentos nesta área com características heterogêneas que é comum aos sedimentos em ambientes eutrofizados (Brix *et al.*, 1996; Chang & Yang, 2003; Wang & Han, 2005), e acaba por promover valores discrepantes de concentração de metano em relação à variabilidade temporal da lagoa. Os resultados encontrados para o experimento realizado no mês de julho dão indícios de que a variabilidade pontual supera a temporal, pelo menos para este ponto da lagoa do Vigário, ratificado pela ferramenta estatística utilizada, uma vez que as alíquotas não apresentaram uma representatividade de réplicas ambientais. Essa variabilidade discutida por alguns autores quanto a uma elevada heterogeneidade espacial nas taxas de emissão de metano (Wang & Han, 2005), ressalta a importância da avaliação de diferentes pontos de amostragem para a representação de uma mesma área. Tal hipótese pode ser corroborada pelos valores de alcalinidade e condutividade mais altos encontrados no experimento realizado em julho. De maneira geral os valores de alcalinidade e condutividade encontrados na lagoa do Vigário são elevados, quando comparados aos valores da lagoa de Cima, o que corrobora as altas taxas de contaminação por via alóctone devido à interferência antrópica e a soma de contribuições salobras do lençol freático nesta lagoa (Lannes, 2002). Segundo Singht (2000), ambientes naturais receptores de efluentes domésticos ou industriais favorecem a metanogênese, uma vez que o processo de eutrofização artificial é responsável pelo aumento das concentrações de carbono orgânico para processos degradativos.

O resultado das análises de coliformes fecais e totais encontrados no presente estudo, dá indícios de que a lagoa do Vigário pode ser considerada “IMPRÓPRIA” para recreação de contato primário, devido à contaminação por efluentes domésticos, já descrita anteriormente por Lannes (2002), segundo a

Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986. O que confirma a característica de ações antropogênicas nessa lagoa de estudo.

## **6.2 - Variação Temporal da Concentração de CH<sub>4</sub> na Lagoa do Vigário e de Cima**

Na lagoa do Vigário, no ponto amostral da Secretaria do Meio Ambiente o período chuvoso apresentou valores de condutividade, alcalinidade e CO<sub>2T</sub> mais altos do que no período seco. Esses parâmetros analisados em conjunto sugerem uma maior atividade decompositora anaeróbica e/ou uma ressuspensão das águas de fundo no período chuvoso neste ponto de coleta. Abril *et al.*, (2006) relatou que curtos eventos meteorológicos como stress de chuva e ventos tem um papel crucial nas taxas de emissão de metano, uma vez que estes eventos promovem uma parcial desestratificação da coluna d' água e um transporte ascendente de águas de fundo ricas em CH<sub>4</sub> ocasionando uma mistura vertical. Tal processo pode estar relacionado ao aumento da concentração de metano observado na Secretaria do Meio Ambiente no período chuvoso. Outra característica importante é a presença de um enorme banco de *Typha domingensis* próximo ao ponto de coleta, associado a uma coluna d' água de 1,5 m de profundidade, bem como uma grande quantidade de *Eichhornia crassipes* flutuantes que se movimentam ao longo do dia de acordo com a posição do vento, o que sugere um maior fomento de substratos orgânicos (detritos) para a metanogênese nas águas de fundo, pobres em oxigênio (Ding *et al.*, 2002). Outro fator que pode estar influenciando no aumento da concentração de metano no período chuvoso é o aumento da profundidade da coluna d'água. Segundo Singh *et al.*, (2000), esse aumento da coluna d'água promove a redução do potencial redox através da diminuição da concentração de O<sub>2</sub> dissolvido, o que favorece a metanogênese, uma vez que tal processo acontece através de organismos anaeróbicos obrigatórios. Conrad (1989) descreveu a atuação das macrófitas aquáticas no processo de produção de CH<sub>4</sub> através do fornecimento de substratos orgânicos produzidos na fotossíntese e liberados através da raiz, e pelo fornecimento de detritos da macrófita para os organismos metanogênicos no sedimento. O aumento da concentração de metano no período chuvoso também pode ser explicado por processos físicos. A concentração de um gás na água está

diretamente relacionada à pressão exercida sobre o mesmo, logo quanto maior a profundidade da coluna d'água, maior a pressão, e conseqüentemente, maior a concentração do gás dissolvido (Manahan, 1994).

Embora a concentração de metano encontrada na água superficial tenha sido maior no período chuvoso, e mesmo não tendo dados de oxigênio, um aumento observado no valor do pH sugere uma maior oxigenação no período chuvoso para este mesmo ponto. É possível que esta maior oxigenação possa ser devido à pequena extensão da coluna d' água, bem como por perturbação da mesma, uma vez que pouco antes da coleta havia chovido bastante (Abril *et al.*, 2006).

A Chácara da Lagoa apresentou um padrão diferente em relação aos parâmetros limnológicos quando comparada a Secretaria de Meio Ambiente, uma vez que os maiores valores de condutividade, alcalinidade e  $\text{CO}_{2T}$ , foram registrados no período seco. É provável que esses menores valores sejam devido à diluição das águas no período chuvoso. Uma vez que neste ponto amostral não existe grande quantidade de *Typha*, e sim pequenas moitas espalhadas na margem da lagoa. Logo, não há grande quantidade de matéria orgânica para decomposição nas águas de fundo, quando comparada a Secretaria de Meio Ambiente.

A lagoa de Cima apresentou valores de pH mais ácido e maiores valores de  $\text{CO}_{2T}$  no período seco, o que sugere uma menor oxigenação na água neste período. Segundo Carmouze (1994), o aumento ou a diminuição do  $\text{CO}_{2T}$  provoca uma variação do pH no sentido oposto e, portanto uma redistribuição das espécies carbonatadas. Já no período chuvoso o pH aumentou, caracterizando uma diminuição do  $\text{CO}_{2T}$ , e sugerindo uma maior oxigenação da água neste período. Segundo Pedrosa (1999) na lagoa de Cima no período chuvoso ocorre o aumento da profundidade da coluna d' água, da temperatura, além do aumento do MPS (material particulado solúvel) e P - total através do material alóctone no sistema lacustre, oriundos do rio Imbé e Urubu, que favorece a queda nas taxas de  $\text{O}_2$  dissolvido nesse período. Um Esse padrão é diferente do encontrado no presente estudo, uma vez que os dados de pH e  $\text{CO}_{2T}$  sugerem uma maior oxigenação no período chuvoso. Porém, é importante frizar que as coletas foram realizadas na margem da lagoa, em profundidade pequena, o que favorece a oxigenação da água, além terem sido realizadas após intensa chuva (Abril *et al.*,

2006). A condutividade no período seco apresentou um valor maior do que os registrados nas coletas no período chuvoso, tal característica pode ser devido a maior incidência de chuvas e conseqüente diluição das águas do ambiente estudado.

Os baixos valores de alcalinidade, condutividade e  $\text{CO}_{2\text{T}}$  encontrados na lagoa de Cima, ratificam os dados encontrados em outros estudos que caracterizam a mesma lagoa com água livre da influência de resíduos domésticos e fontes industriais (Rezende *et al.*, 2006), o que pode ser confirmado através das baixas taxas de coliformes fecais e totais encontrados no presente estudo.

### **6.3 - Comparação dos Intervalos de Concentração de Metano encontrados no Presente Estudo com Outros Trabalhos**

As faixas de concentração de metano encontrados na lagoa do Vigário estão inseridas nos limites de concentração já estabelecidos para outros ambientes como o Mar Báltico, o lago Diogo - SP, e as lagoas de Imboassica - RJ e Carapebus - RJ (Tabela 5).

Assim como a lagoa do Vigário a lagoa de Imboassica e Carapebus estão localizadas em uma área densamente urbanizada do município de Macaé - RJ, com corpos d'água receptores de efluentes domésticos. Marinho (2004) encontrou em seu trabalho um efeito positivo do lançamento de esgoto sobre a produção de metano na lagoa de Imboassica - RJ. A eutrofização de origem antrópica traz efeitos diretos e indiretos sobre a metanogênese (Casper, 1992). Dentre os efeitos diretos destaca-se o crescimento das populações de metanogênicos proporcionado pelo aporte de nutrientes. Como efeito indireto destaca-se a redução na concentração de  $\text{O}_2$  dissolvido, principalmente no hipolímnico, o que pode garantir um ambiente anóxico favorável aos metanogênicos (Casper, 1992). Segundo Singht (2000), ambientes naturais receptores de efluentes domésticos ou industriais favorecem a metanogênese, uma vez que o processo de eutrofização é responsável pelo aumento das concentrações de carbono orgânico para processos degradativos.

A lagoa do Vigário mesmo com sua característica de recebimento de efluentes não apresenta valores de concentrações de metano comparáveis com

as lagoas de Imboassica e Carapebus, a não ser quando confrontados com os dados obtidos no mês de julho.

**Tabela 5 - Tabela Comparativa dos Intervalos de concentração de CH<sub>4</sub> dissolvido na coluna d' água em diferentes ambientes aquáticos e as respectivas referências bibliográficas.**

<b>Localização</b>	<b>CH<sub>4</sub> (µmol.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Referência</b>
Mar báltico	<b>0,05 - 1,2</b>	Schmaljohann, 1996
Lago Diogo - SP	<b>0,73 - 1,35</b>	Ballester, 2001
Lago Diogo - Bancos de macrófitas - SP	<b>0,84 - 2,60</b>	Ballester, 2001
Lagoa Cabiúnas - região limnética - RJ	<b>11,46 - 12,32</b>	Fonseca <i>et al.</i> , 2004
Lagoa Cabiúnas - região litorânea - RJ	<b>11,43 - 16,40</b>	Fonseca <i>et al.</i> , 2004
Lagoa Carapebus - RJ	<b>0,6 - 1,3</b>	Marinho <i>et al.</i> , 2004
Lagoa Imboassica - RJ	<b>2,5 - 13,0</b>	Marinho <i>et al.</i> , 2004
Alagados construídos - com macrófitas - Lagoa do Vigário	<b>0,125 - 0,353</b>	Santos, 2007
Alagados construídos - sem macrófitas - Lagoa do Vigário	<b>0,142 - 1,401</b>	Santos, 2007
Alagados construídos - com macrófitas - Lagoa de Cima	<b>0,127 - 0,237</b>	Santos, 2007
Alagados construídos - sem macrófitas - Lagoa de Cima	<b>0,124 - 0,548</b>	Santos, 2007
Lagoa do Vigário - com macrófita - período seco	<b>0,06 - 0,80</b>	<b>Presente estudo</b>
Lagoa do Vigário - sem macrófita - período seco	<b>0,07 - 6,63</b>	<b>Presente estudo</b>
Lagoa do Vigário - com macrófita - período chuvoso	<b>1,11 - 3,11</b>	<b>Presente estudo</b>
Lagoa do Vigário - sem macrófita - período chuvoso	<b>0,14 - 0,67</b>	<b>Presente estudo</b>
Lagoa de Cima - sem macrófita - período seco	<b>0,07 - 0,13</b>	<b>Presente estudo</b>
Lagoa de Cima - sem macrófita - período chuvoso	<b>0,12 - 0,49</b>	<b>Presente estudo</b>

Lannes (2002) demonstrou em seu trabalho que o processo de sulfato-redução contribui de forma significativa para a degradação de matéria orgânica na lagoa do Vigário. Estudos desenvolvidos por Zinder (1993) demonstram que a salinidade e a concentração de sulfato nos ambientes aquáticos podem influenciar a formação de metano nestes ambientes. A metanogênese sob estas condições pode estar sendo inibida pela competição por H<sub>2</sub> entre as bactérias sulfato-redutoras (que têm mais afinidade por H<sub>2</sub>, e necessitam de níveis menores de redução para a decomposição de matéria orgânica) e metanogênicas. É provável que essa característica da lagoa do Vigário possa explicar a menor concentração de metano nesta lagoa, quando comparada à lagoa de Cabiúnas - RJ, que é uma lagoa bem preservada, livre de ações antropogênicas.

Os dados de concentração de metano encontrados na lagoa do Vigário no presente estudo quando comparados aos de alagados artificiais com sedimento, água e *Typha* provenientes da lagoa do Vigário (Santos, 2007), indicam uma

maior concentração de metano no alagado natural do que no artificial, quando utilizado todos os dados obtidos em todos os experimentos. Porém quando utilizados os dados do período chuvoso de ambas as lagoas e comparadas com os dados de Santos (2007), as concentrações de metano estão inseridas na mesma faixa de detecção. É importante ressaltar que as coletas de Santos (2007) foram realizadas junto com as do presente trabalho no período chuvoso. Singh *et al.*, (2000; 2001) avaliou as taxas de emissão de metano em alagados naturais e construídos, e constatou que em alagados artificiais a taxa de emissão de CH<sub>4</sub> é menor que em alagados naturais.

Ao analisar em conjunto os dados coletados em ambos os pontos da lagoa do Vigário (SMA e CL), sem a utilização dos dados coletados no mês de julho, ficou evidente uma maior concentração de metano na água superficial no período chuvoso quando comparado ao seco. Tal aumento pode ser devido ao aumento da temperatura ambiente. O papel da temperatura na taxa de emissão de metano tem sido avaliado por diferentes autores (Chang, 2003; Singh *et al.*, 2000; Wang & Han, 2005; Xing *et al.*, 2005) e todos chegaram a um consenso de que com o aumento da temperatura ocorre uma elevação nas taxas de emissão de metano, dessa maneira as maiores taxas de emissão ocorrem no verão, seguido da estação chuvosa e inverno. Além disso, a decomposição da matéria orgânica fornecida pela macrófita consome O<sub>2</sub> nas águas de fundo, e tal diminuição ainda é favorecida pelo aumento da coluna d' água no período chuvoso, o que produz um ambiente anaeróbico favorável a metanogênese (Crill *et al.*, 1991). Outro fator significativo para a metanogênese pode ser o maior aporte de matéria orgânica no período chuvoso. Singh *et al.*, (2000) constatou que quanto maior a quantidade de C orgânico no solo maior as taxas de emissão de CH<sub>4</sub>, que vai depender também da composição da matéria orgânica disponível para a produção de metano. Além do stress da chuva que tem um papel essencial nas taxas de aumento da emissão de metano (Abril *et al.*, 2006). O aumento da concentração de CH<sub>4</sub> na água da lagoa do Vigário no período chuvoso coincide com o período de maior concentração de COD e NOD, como descrito anteriormente por Lannes (2002) para esta mesma lagoa. A maior concentração de COD e NOD caracteriza um ambiente com maior aporte de matéria orgânica, que pode ser devido ao aumento da produção de detritos vegetais e animais (Carvalho, 1998), bem como através da entrada de nutrientes provenientes de resíduos domésticos (Singh *et al.*,

2000). Segundo Lannes (2002) o orto-fosfato também apresentou maiores concentrações no período chuvoso, o que caracteriza um ambiente mais reduzido, como pode ser confirmado através das menores taxas de Eh e menores concentrações de O<sub>2</sub> dissolvido (Lannes, 2002). Outra variável importante que confirma um ambiente mais reduzido no período chuvoso é o maior consumo de Mg<sup>+2</sup> e SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> (Lannes, 2002). Desse modo há um maior consumo de agentes oxidantes alternativos na lagoa do Vigário no período chuvoso, e consequentemente, maior o processo de metanogênese.

Na lagoa de Cima a concentração de CH<sub>4</sub> na água superficial foi maior no período chuvoso do que no período seco, como ocorreu na lagoa do Vigário. Segundo Pedrosa (1999), a produção primária na lagoa de Cima é exercida principalmente por fitoplâncton. Este fato explica a menor quantidade de matéria orgânica nesta lagoa que vai servir de substrato para metanogênese no período seco. Essa condição tende a ser preservada tendo em vista que essa lagoa apresenta características ambientais relativamente preservadas (Rezende *et al.*, 2006) indicadas através dos baixos valores encontrados para as taxas de coliformes fecais e totais. A maior concentração de metano registrado no período chuvoso pode ser devido à ressuspensão do material de fundo (Abril *et al.*, 2006), bem como através do maior aporte de substratos orgânicos (Singh *et al.*, 2000) advindos das bacias de drenagem dos rios Imbé e Urubu, que podem favorecer a metanogênese. Segundo Pedrosa (1999), o aumento da profundidade, temperatura e MPS (material particulado solúvel) associados a uma queda nas taxas de O<sub>2</sub> dissolvido, indicam que a demanda por este elemento é maior no período chuvoso. E o padrão de correlações negativas encontradas entre as variáveis de pH e profundidade também reforça esta indicação. Assim atividades intensificadas de mineralização bacteriana e conseqüente produção de dióxido de carbono, ácido carbônico e íons H<sup>+</sup> parecem ser estimuladas no período chuvoso, provavelmente em função da entrada de substratos orgânicos alóctones. As maiores concentrações encontradas para COD e P (total) foram registrados no período chuvoso, quando registradas as maiores profundidades, o que caracteriza um maior aporte de matéria orgânica neste período em função da lixiviação dos solos da bacia de drenagem, e pode justificar a maior concentração de CH<sub>4</sub> encontrada nessa lagoa no período chuvoso (Pedrosa, 1999).

No presente estudo, as concentrações de metano encontradas na lagoa de Cima no período chuvoso coincidem com as concentrações observadas por Santos (2007) em alagados artificiais com sedimento e água proveniente da mesma lagoa. É importante ressaltar que as coletas de ambos os experimentos foram realizadas no mesmo período (chuvoso). As faixas de concentração de CH<sub>4</sub> encontradas na lagoa de Cima estão inseridas no limite observado para o Mar Báltico (Schmaljohann, 1996).

Quando comparado o conjunto de valores de concentrações de metano obtido no período seco para as duas lagoas, observa-se que a lagoa do Vigário apresenta concentração superior. Embora essa diferença não tenha sido considerada na avaliação temporal, é relevante a sua observação uma vez que os dados referentes ao mês de julho possam estar representando um incremento pontual do aporte de matéria orgânica. Daí a necessidade de amostragens mais extensas para que se verifique com que frequência essa pontualidade acontece. Embora a condição de eutrofização da lagoa do Vigário principalmente relacionada à entrada de esgoto doméstico (Singht *et al.*, 2000) seja um processo evidente, essa condição por si só parece não definir claramente a intensidade da produção de metano esperada para aquela lagoa. É provável que essa discrepância aparente, possa ser devido à característica de sulfato-redução da lagoa do Vigário (Lannes, 2002), inibindo o processo de metanogênese (Casper, 1992).

#### **6.4 - Avaliação do Papel da *Typha domingensis* no Ciclo do Metano**

A área com macrófita apresentou um maior consumo de O<sub>2</sub>, uma vez que este ponto apresentou uma maior concentração de CO<sub>2T</sub>, e menor concentração de O<sub>2</sub> dissolvido. Segundo Carmouze (1994) altas taxas de CO<sub>2T</sub> refletem no maior consumo de O<sub>2</sub>, e conseqüentemente uma diminuição no valor do pH. A baixa oxigenação nas áreas onde as macrófitas foram cortadas refletiu na diminuição dos valores de Eh nestes pontos, bem como do CO<sub>2T</sub>, e no aumento do pH. O resultado encontrado indica que as macrófitas oxigenam o ambiente em que estão inseridas, porém usam parte desse oxigênio para seu próprio consumo. Tal fato pode ser explicado pela redução do Eh quando as macrófitas foram podadas, bem como pela diminuição na taxas de CO<sub>2T</sub>, uma vez que quanto

maior a taxa de  $\text{CO}_{2T}$  maior o consumo de  $\text{O}_2$ . A condutividade e alcalinidade não apresentaram grandes variações entres os tratamentos.

A concentração de metano encontrada na área SM foi menor que a área CM, um padrão diferente do encontrado anteriormente no experimento inicial. É importante ressaltar que o experimento inicial foi realizado à margem da lagoa e em outro ponto de amostragem (Chácara da Lagoa). E as macrófitas encontravam-se a uma profundidade máxima de 23 cm. Já este experimento foi realizado na Secretaria de meio Ambiente onde as macrófitas se encontravam a uma profundidade de 1,5 m, e o banco de macrófitas da Secretaria de Meio Ambiente ocupa uma grande área e seus detritos são decompostos em profundidades maiores. Essa maior quantidade de matéria orgânica é decomposta em uma coluna d' água maior o que favorece a decomposição anaeróbica, uma vez que ocorre a escassez de  $\text{O}_2$  dissolvido. Segundo Singh *et al.*, (2000), o aumento da coluna d' água promove a redução do potencial redox através da diminuição da concentração de  $\text{O}_2$  dissolvido, o que favorece a metanogênese. Diferente do que acontece na Chácara da Lagoa, uma vez que parte da matéria orgânica pode estar sendo decomposta de forma aeróbica, devido à pequena coluna d' água. Além do fato de que parte do metano produzido no sedimento possa estar sendo transportado para atmosfera através da *Typha*. Ao contrário da Secretaria de Meio Ambiente, na Chácara da Lagoa os bancos de *Typha* são pequenos e espalhados em alguns pontos da margem. Segundo Ding *et al.*, (2002), a profundidade das águas governa o tipo de vegetação, que por sua vez regula o transporte de  $\text{CH}_4$  para a atmosfera, e governa a quantidade de restos vegetais para o processo de metanogênese, refletindo na concentração de metano na água intersticial e sua conseqüente emissão. Tal experimento justifica os diferentes padrões de concentração de metano na água encontrados na área SM e CM, na Secretaria de Meio Ambiente e Chácara da Lagoa. Ding *et al.*, (2005) ressalta que o nível de profundidade da água é mais importante que o papel das macrófitas para a oxidação de metano, em áreas rasas a oxidação é mais significativa. A maior concentração de metano encontrada na área CM e SM na Secretaria de Meio Ambiente a uma maior profundidade, também pode ser justificado através de processos físicos. Com o aumento da profundidade há um aumento da pressão que interfere diretamente na concentração do gás na água, promovendo uma maior concentração (Manahan, 1994).

No presente estudo os resultados obtidos sugerem que a *Typha domingensis* pode estar atuando como uma fonte de gases estufa através da emissão de metano via aerênquima da planta, e como acumulador através da produção primária. Esteves (2006) concluiu em seu estudo que a *Typha domingensis* além de sua capacidade de armazenar e participar da ciclagem de nutrientes tem uma importância global como alternativa para a captação e estocagem de carbono, em função do seu rápido crescimento. A diferença na taxa de emissão de metano em áreas alagadas tem sido avaliada (Sing 2000; 2001; Duan *et al.*, 2005; Cronin *et al.*, 2006) e em todos os estudos citados existe um consenso de que a taxa de emissão de CH<sub>4</sub> na área vegetada é maior que a não vegetada. Brix *et al.*, (2001) relatou que a macrófita *Phragmites australis*, que possui uma taxa de produção primária alta pode ser considerada um acumulador e uma fonte de gases estufa. Acumulador através da assimilação de CO<sub>2</sub> atmosférico e nutriente do sedimento para realização da fotossíntese e produção de biomassa. E como fonte através do transporte de metano produzido no sedimento através da decomposição de matéria orgânica.

A área onde as macrófitas foram cortadas acima da água superficial apresentou uma diminuição na concentração de metano em relação à área com macrófita. As amostras coletadas nesse ponto não funcionaram como réplicas. Talvez a área onde as macrófitas foram cortadas não tenham sido grande o suficiente e o conjunto de réplicas coletadas estaria próximo ao banco de macrófita não cortado. Quando comparado visualmente o conjunto de réplicas cortadas acima da água superficial com a área com macrófita, a maioria das amostras apresentou uma menor concentração de metano em relação à área CM. Chanton *et al.*, (1993) e Kaki *et al.*, (2001) avaliaram o papel das macrófitas *Typha domingensis*, *Typha latifolia* e *Phragmites australis*, e estas apresentaram uma importante capacidade de transportar CH<sub>4</sub>. Hirota *et al.*, (2005) avaliou o papel da pastagem de animais em um banco de macrófitas, e concluiu que houve uma redução na cobertura de biomassa das macrófitas acima da coluna d'água, o que promoveu um aumento nas taxas de emissão de CH<sub>4</sub>. A poda das macrófitas reduziu a distância percorrida pelo metano do sedimento para a atmosfera, aumentando a capacidade difusiva do metano na planta. Logo, a redução da concentração de CH<sub>4</sub> na coluna d' água no presente estudo depois que as

macrófitas foram cortadas acima da água de superfície, pode ser devido ao aumento da capacidade de transporte da planta.

A *Typha* é uma planta aquática com grande quantidade de biomassa aérea, o que pode ser mais um fator que pode estar influenciando em sua capacidade de emissão de gases estufa. Ding *et al.*, (2002) concluíram que quanto mais a planta investe em biomassa acima do nível d' água, por aumento da densidade de tecido de suporte, mais acelerado se torna o processo de emissão de metano através da planta.

A área onde as macrófitas foram cortadas abaixo da água superficial também apresentou uma diminuição na concentração de metano em relação à área com macrófita. A diminuição da concentração de metano na coluna d' água quando a *Typha* foi cortada abaixo da água superficial pode ser devido à diminuição no fornecimento de substratos orgânicos através da raiz, uma vez que a taxa fotossintética foi reduzida com a poda da macrófita. Entretanto, a *Typha domingensis* pode estar atuando na produção de metano através do fornecimento de detritos na água de fundo para metanogênese, bem como através do fornecimento de substratos orgânicos produzidos na fotossíntese liberados através da raiz. Ding *et al.*, (2005) concluíram em seu estudo que a macrófita *Carex meiriana* contribui com a produção de metano em áreas alagadas através da liberação de compostos orgânicos pela planta, que servem de substrato para metanogênese.

Os resultados encontrados no presente estudo indicam um importante papel da *Typha domingensis* na lagoa do Vigário na produção e transporte de metano. Estas podem estar contribuindo com a produção de metano via detritos de sua biomassa e através da liberação de substratos orgânicos através da raiz, além disso, a *Typha* teria o papel de colaborar no incremento da emissão de metano para a atmosfera via aerênquima da planta.

## 7 - CONCLUSÃO

Os resultados encontrados para concentração de metano na lagoa do Vigário não corroboram a primeira hipótese levantada no presente estudo. Os dados de coliformes confirmam ações antropogênicas nesta lagoa, porém as baixas concentrações de CH<sub>4</sub> obtidas sugerem que a metanogênese pode estar sendo inibida por outros processos.

De acordo com a segunda hipótese levantada neste trabalho os dados encontrados confirmam essa hipótese. A concentração de CH<sub>4</sub> encontrada na coluna d'água de ambas as lagoas de estudo variou temporalmente. As lagoas do Vigário e de Cima apresentaram uma maior concentração de metano no período chuvoso. Tal resultado sugere que o aumento da temperatura e profundidade da coluna d'água, e maior aporte de matéria orgânica característicos desse período, favorecem a metanogênese nas lagoas de estudo.

Os dados encontrados no presente trabalho sugerem que a *Typha domingensis* tem um papel importante no ciclo do metano na lagoa do Vigário. Esta pode estar fornecendo matéria orgânica (detritos de biomassa e substratos orgânicos através da raiz) para organismos metanogênicos, bem como atuando no transporte desse gás para atmosfera via aerênquima da planta.

À medida que a profundidade da coluna d'água aumenta a concentração de metano tanto na área com presença e ausência de macrófita aumenta. É possível que esse fato possa ser explicado pela baixa oxigenação das águas de fundo e conseqüente favorecimento da anaerobiose, e/ou por mudanças das condições físicas, devido a maior pressão exercida no gás em conseqüência da maior coluna d'água, o que interfere na concentração do mesmo.

## 8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anselmann, I., Crutzen, P.J., 1989. Global distribution of natural Freshwater wetlands and rice paddies, their net primary production, seasonality and possible methane emissions. *Journal of Atmospheric chemistry*, Vol. 8,307 – 358.
- Abril, G.; Richard, S.; Guérin, F., 2006. In situ measurements of dissolved gases (CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub>) in a wide range of concentrations in a tropical reservoir using an equilibrador. *Science of the Total Environment*. Vol. 2, 246-251.
- Almeida, M. G., 1998. Geoquímica de metais pesados na Lagoa de Cima, RJ. Dissertação apresentada ao centro de Biociências e Biotecnologia como parte dos atributos para obtenção do título de Mestre em Ciências, área de concentração em Ciências Ambientais, Campos dos Goytacazes-RJ, UENF.
- Baird, C., 2002. *Química Ambiental*. Trad. Angeles, M.; Recio, L.; Marques, L. C. 2 ed. Bookman, Porto Alegre.
- Ballester, M.V.R. & Santos, J.E., 2001. Biogenic gases (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub>) distribution in a riverine wetlands system, 21 – 22. In: faria, B. M., Farkalla, V.F.; Esteves. F.A. (eds), *Oecologia Brasiliensis*, Vol. 9, *Aquatic Microbial Ecology in Brazil*, PPGE-UFRJ, Rio de Janeiro.
- Berner, E. K and Berner, R. A., 1996. *Global environment*, 1 ed. New Jersey, Prentice-Hall, Inc.
- Blaha, D.; Bartlett, K.; Czepiel, P.; Harriss, R.; Crill, P., 1999. Natural and anthropogenic methane sources in New England. *Atmospheric Environment*, Vol. 33, 243 – 255.
- Bosse, U., Frenzel, P., 1998. Methane emissions from rice microcosms: the balance of production, accumulation and oxidation. *Biogeochemistry*. Vol. 41, 199 – 214.
- Branco, S.M., 1978. *Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária*. 2 ed. São Paulo: CETESB.
- Brix, H., Sorrel, B.K., Orr, P.T., 1992. Internal pressurization and convective gas flow in some emergent freshwater macrophytes. *Limnol. Oceanogr.* Vol. 37, 1420 – 1433.

- Brix, H., 1994. Functions of macrophytes in constructed wetlands. *Wat. Sci. Tech.* Vol. 29, No. 4, 71-78.
- Brix, H., 1996. Gas fluxes achieved by in situ convective flow in *Phragmites australis*. *Aquat. Bot.* Vol. 54, 151 – 163.
- Brix, H., 1997. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 35, No 5, 11 - 17.
- Brix, H.; Brian, K. S.; Lorenzen, B., 2001. Are Phragmites – dominated wetlands a net source or net sink of greenhouse gases? *Aquatic Botany*, Vol. 69, 313 – 324.
- Burgoon, P. S.; Reddy, K. R.; Debusk, T. A.; Koopman, B., 1991. Vegetated submerged beds with artificial substrates. II: N and P removal. *Journal of Environmental Engineering*. Vol. 117, 408 – 424.
- Carmouse, J-P, 1994. O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas. 1 ed., São Paulo.
- Carvalho, C.C.V., 1994. Origem e dinâmica da matéria orgânica em um sistema flúvio-lacustre da região Norte Fluminense. Tese de Doutorado, Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense.
- Casper, P., 1992. Methane production in lakes of different trophic state. *Arch. Hydrobiol. Beith. Ergebn. Limnol.* Vol. 37, 149-154.
- Chang, T. and Yang, S., 2003. Methane emission from wetlands in Taiwan. *Atmospheric Environment*, Vol. 37, 4551-4558.
- Chanton, J.P., Martens, C.S., Kelley, C.A., 1989. Gas transport from methane-saturated, tidal freshwater and wetland sediment. *Limnol. Oceanogr.* Vol. 34, 807 – 919.
- Conrad, R., 1989. Control of methane production in terrestrial ecosystems. In : Andreae, M.O., Schimel, D.S. (Eds.) Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. Dahlem Konferenzen. Wiley, Chichester, 39 – 58.
- Cronin, G., Lewis Jr., W.M., Schiehsler, M.A., 2006. Influence of freshwater macrophytes on the littoral ecosystem structure and function of young Colorado reservoir. *Aquatic Botany*. Vol. 85, 37 – 43.
- Ding, W.; Cai, Z.; Tsuruta, H. Li, X., 2002. Effect of standing water depth on methane emissions from freshwater marshes in northeast China. *Atmospheric Environment*, Vol. 36, 5149 – 5157.

- Ding, W.; Cai, Z.; Wang, D., 2004. Preliminary budget of methane emissions from natural wetlands in China. *Atmospheric Environment*, Vol. 38, 751-759.
- Ding, W.; Cai, Z.; Tsuruta, H., 2005. Plant species effects on methane emissions from freshwater marshes. *Atmospheric Environment*, Vol. 39, 3199 – 3207.
- Duan, X., Wang, X., Um, Y., Ouyang, Z., 2005. Seasonal and diurnal variations in methane emissions from Wuliangsu Lake in arid regions of China. *Atmospheric Environment*. Vol. 39, 4479 – 4487.
- Esteves, B. S., 2006. Biomassa, Produtividade Primária e Composição Nutricional de *Typha domingensis* Pers. na Lagoa do Campelo, RJ. Dissertação apresentada ao centro de Biociências e Biotecnologia como parte dos atributos para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais, Campos dos Goytacazes-RJ, UENF.
- Feema, 1993. Perfil ambiental do município de Campos. 1 ed., Rio de Janeiro: Gráfica da Feema.
- Fenchel, T.; King, G.M.; Blackburn, T.H., 1998. *Bacterial biogeochemistry*, 2 ed., Academic Press, California & London.
- Fonseca, A. L. S.; Minello, M.; Marinho, C.C.; Esteves, F. A., 2004. Methane concentration in water column and pore water of a coastal lagoon (Cabiúnas Lagoon, Macaé, RJ, Brazil). Brazilian. *Archives of Biology and Technology*, Vol. 47, 301 – 308.
- Gama, D.M.; Aragon, G.T.; Ovalle, A.R.C., 1995. Levantamento cartográfico da Bacia de drenagem da Lagoa de Cima, RJ. Dados não publicados.
- Hargreaves, K.J. and Fowler, D., 1998. Quantifying the effects of water table and soil temperature on the emission of methane from peat wetland at the field scale. *Atmospheric Environment*, Vol. 32, 1275-2282.
- Hirota, M.; Tang, Y; Hu, Q; Kato, T.; Hirata, S.; Mo, W.; Cão, G.; Mariko, S., 2005. The potencial importance of grazing to the fluxes of carbon dioxide and methane in na alpine wetland on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Atmospheric Environment*, Vol. 39, 5255 – 5259.
- Holzappel-Pschorn, A.; Conrad, R., Seiler, W., 1986. Effects of vegetation on the emission of methane from submerged paddy soil. *Plant and Soil*. Vol. 92, 223 – 233.

- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Paris, February, 2007.
- Joabson, A.; Christensen, T.R.; Wallen, B., 1999. Vascular plant controls on methane emissions from northern peatforming wetlands. *Tree*. Vol. 14, 385 - 388.
- Jugsujinda, A.; Delaune, R.D.; Lindau, C.W.; Sulaeman, F.; Pezeshki, S.R., 1996. Factors controlling carbon dioxide and methane production in acid sulfate soils. *Water Air and Soil Pollution*. Vol. 87, 345 - 355.
- Kaki, T., Ojala, A., Kankaala, P., 2001. Diel variation in methane emissions from stands of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. and *Typha latifolia* L. in a boreal lake. *Aquatic Botany*. Vol. 71, 259 – 271.
- Kiehl, E.J., 1985. *Fertilizantes orgânicos*. Editora Agronômica Ceres Ltda. São Paulo, 492.
- Lannes, L. S., 2002. *Hidroquímica do sistema alagado urbano Vigário-Taquaruçu, Campos dos Goytacazes, RJ*. Monografia apresentada ao centro de Biociências e Biotecnologia como parte dos atributos para obtenção do grau de Bacharel em Ciências Biológicas, Campos dos Goytacazes-RJ, UENF.
- Lannes, L.S., 2004. *Avaliação de pequenos alagados artificiais na modificação da qualidade da água utilizando a macrófita aquática Typha domingensis Pers.* Dissertação apresentada ao centro de Biociências e Biotecnologia como parte dos atributos para obtenção do título de Mestre em Ciências, área de concentração em Ciências Ambientais, Campos dos Goytacazes-RJ, UENF.
- Lorezen, B.; Brix, H.; Mendelssohn, I.A.; Mckee, K.L.; Miao, S.L., 2001. Growth, biomass, allocation and nutrient use efficiency in *Cladium jamaicense* and *Typha domingensis* as affected by phosphorus and oxygen availability. *Aquatic Botany*. Vol. 70, 117-133.
- Maio, S.L.; Sklar, F.H., 1998. Biomass and nutrient allocation of sawgrass and cattail along a nutrient gradient in the Florida Everglades. *Wetlands Ecology and Management*. Vol. 5, 245-263.
- Manahan, S.E., 1994. *Environmental Chemistry*. 6 ed. Edit. Lewis, Florida.

- Marani, L.; Avalá, P.C., 2007. Methane emissions from lakes and floodplains in Pantanal, Brazil. *Atmospheric Environment*. Vol. 41, 1627-1633.
- Marinho, C.C.; Fonseca, A.L.S.; Minelo, M.; Esteves, F. A., 2004. Resultados e perspectiva sobre o estudo do CH<sub>4</sub> nas lagoas costeiras da Restinga de Jurubatiba e da Lagoa Imboassica na Região Norte do Estado do Rio de Janeiro. In: Rocha, C. F.; Esteves, F.A.; Scarano, E.R. (eds). *Pesquisas de Longa Duração na Restinga de Jurubatiba: Ecologia, História Natural e Conservação*, 2004. São Carlos-SP. Editora Rima, 273-294.
- Mitsch, W. J.; Gosselink, J. G., 2000. *Wetlands*. 3 ed, Edit. John Willey & Sons, New York.
- Moutinho, P.; Schwartzman, S., 2005. Tropical deforestation as a source of greenhouse gases. In "Tropical Deforestation and Climate Change". *Instituto de pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) e Environmental Defense (ED)*.  
[www.ipam.org.br](http://www.ipam.org.br)
- Neue, H. U.; Gaunt, J. L.; Wang, Z. P.; Becker-Heidmann, P.; Quijano, C., 1997. Carbon in tropical wetlands. *Chemosphere*, Vol. 79, 163- 185.
- Oremland, R.S., 1988. Biochemistry of methanogenic bacteria. *Biology of anaerobic microorganisms*, 641-706, New York.
- Parashar, D. C.; Mitra, A. P.; Prabhat, K.; Gupta, J., 1996. Methane budget from paddy fields in India. *Chemosphere*, Vol. 33, No. 4, 737 - 757.
- Pedrosa, P., 1999. Padrões de comportamento espaço-temporal do meio líquido da Lagoa de Cima (Campos dos Goytacazes, RJ): Aspectos físicos, tróficos, metabolismo e organização sistêmica. Tese de Doutorado em Biociências e Biotecnologia. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.
- Popp, T.J.; Chanton, J.P.; Whiting, G.J., Grant, N., 2000. Evaluation of methane oxidation in the rhizosphere of a *Carex* dominated fen in north central Alberta, Canada. *Biogeochemistry*. Vol. 51, 259 – 281.
- Rezende, C.E.; Monteiro, L.R.; Di Benedito, A.P.M., 2006. *Diagnóstico Ambiental da Área de Proteção Ambiental da Lagoa de Cima*. Rio de Janeiro: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro: Centro de Biociências e Biotecnologia: Laboratório de Ciências Ambientais.

- Roland, F.; Cesar, D.; Marinho, M.; 2005. *Lições de Limnologia*. Ed. Rima, São Carlos.
- Santos, M.A.; Rosa, L.P.; Sikar, B.; Sikar, E.; Santos, E.O., 2006. Gross greenhouse gas fluxes from hydro-power reservoir compared to thermo-power plants. *Energy Policy*. Vol. 34, 481-488.
- Santos, J. M.C.O., 2007. Avaliação do fluxo potencial de metano em alagados construídos. Dissertação apresentada ao centro de Biociências e Biotecnologia como parte dos atributos para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Recurso Naturais, Campos dos Goytacazes-RJ, UENF.
- Schmaljohann, R., 1996. Methane dynamics in the sediment and water column of Kiel Harbour ( Baltic Sea). *Mar. Ecol. Progr. Ser.* Vol.131, 263 – 273.
- Singh, S. N.; Kulshreshtha, K.; Agnihotri, S., 2000. Seasonal dynamics of methane emission from wetlands. *Chemosphere: Global Change Science*, Vol. 2, 39-46.
- Singh, S. N., 2001. Exploring correlation between redox potential and other edaphic factors in field and laboratory conditions in relation to methane efflux. *Environment International*, Vol. 27, 265 – 274.
- Singh, S. N.; Verma, A.; Tyagi, L., 2003. Investigating options for attenuating methane emission from Indian rice fields. *Environment International*, Vol. 29, 547-553.
- Xing, Y.; Xie, P.; Yang, H.; Ni, L.; Wang, Y; Rong, K., 2005. Methane and carbon dioxide fluxes from a shallow hypereutrophic subtropical Lake in China. *Atmospheric Environment*, Vol. 39, 5532 – 5540.
- Wang, Z. P. and Han, X. G., 2005. Diurnal variation in methane emissions in relation to plants and environmental variables in the Inner Mongolia marshes. *Atmospheric Environment*, Vol. 39, 6295 – 6305.
- World Research Institute, 2007. *CAIT – Climate Analysis Indicators Tool*.  
<http://cait.wri.org/>
- Yu, K.; Faulkner, S.P.; Patrick, W.H., 2006. Redox potential characterization and greenhouse gas concentration across a hydrological gradient in a Gulf coast forest. *Chemosphere*, Vol. 62, 905-914.
- Zinder, S.H., 1993. Physiological ecology of methanogens. *Methanogenesis*, Chapman & Hall, New York & London, 253-303.

## 9 - APÊNDICES

Apêndice 1: Conjunto de réplicas coletadas na lagoa do Vigário no campo realizado no dia 31 de maio de 2006. As amostras coletadas funcionaram como réplicas segundo o teste Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ).

Secretaria de Meio Ambiente		
Sem Macrófita		
Réplicas	Profundidade (cm)	CH <sub>4</sub> ( $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )
1	40	0,07
1	40	0,12
1	40	0,08
1	40	0,10
1	40	0,11
2	35	0,07
2	35	0,07
2	35	0,11
2	35	0,07
2	35	0,09
3	45	0,08
3	45	0,14
3	45	0,09
3	45	0,10
3	45	0,07
4	35	0,10
4	35	0,07
4	35	0,14
4	35	0,11
4	35	0,13
5	40	0,08
5	40	0,08
5	40	0,07
5	40	0,08
5	40	0,09

Apêndice 2: Conjunto de réplicas coletadas na lagoa do Vigário no campo realizado no dia 6 de junho de 2006. As amostras coletadas não funcionaram como réplicas segundo o teste Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ).

<b>Chácara da Lagoa</b>		
<b>Com Macrófita</b>		
<b>Réplicas</b>	<b>Profundidade</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>
	<b>(cm)</b>	<b>(<math>\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}</math>)</b>
1	16	0,06
1	16	0,06
1	16	0,07
1	16	0,06
1	16	0,09
2	11	0,07
2	11	0,07
2	11	0,06
2	11	0,07
2	11	0,08
3	23	0,44
3	23	0,63
3	23	0,53
3	23	0,47
3	23	----
4	14	0,11
4	14	0,08
4	14	0,07
4	14	0,09
4	14	0,08
5	10	0,08
5	10	0,08
5	10	0,07
5	10	0,10
5	10	0,07

Apêndice 3: Conjunto de réplicas coletadas na lagoa do Vigário no campo realizado no dia 6 de junho de 2006. As amostras coletadas funcionaram como réplicas segundo o teste Mann-Whitney ( $p > 0,05$ ).

<b>Chácara da Lagoa</b>		
<b>Sem Macrófita</b>		
<b>Réplicas</b>	<b>Profundidade</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>
	<b>(cm)</b>	<b>(<math>\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}</math>)</b>
1	27	0,12
1	27	0,11
1	27	0,09
1	27	0,10
1	27	0,15
2	28	0,10
2	28	0,11
2	28	0,14
2	28	0,20
2	28	0,13

Apêndice 4: Conjunto de réplicas coletadas na lagoa do Vigário no campo realizado no dia 17 de julho de 2006. As amostras coletadas não funcionaram como réplicas segundo o teste Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ).

<b>Chácara da Lagoa</b>		
<b>Com Macrófita</b>		
<b>Réplicas</b>	<b>Profundidade</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>
	<b>(cm)</b>	<b>(<math>\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}</math>)</b>
1	8	0,62
1	8	0,42
1	8	0,80
1	8	0,64
1	8	0,60
2	12	0,52
2	12	0,58
2	12	0,57
2	12	0,32
2	12	0,50
3	9	0,28
3	9	0,29
3	9	0,40
3	9	0,46
3	9	0,34

Apêndice 5: Conjunto de réplicas coletadas na lagoa do Vigário no campo realizado no dia 17 de julho de 2006. As amostras coletadas não funcionaram como réplicas segundo o teste Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ).

<b>Chácara da Lagoa</b>		
<b>Sem Macrófita</b>		
<b>Réplicas</b>	<b>Profundidade</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>
	<b>(cm)</b>	<b>(<math>\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}</math>)</b>
1	16	1,71
1	16	2,77
1	16	2,70
1	16	2,55
1	16	1,66
2	19	1,09
2	19	1,16
2	19	1,16
2	19	1,29
2	19	1,52
3	16	6,27
3	16	6,63
3	16	6,36
3	16	6,18
3	16	4,73

Apêndice 6: Conjunto de réplicas coletadas na lagoa do Vigário no campo realizado no dia 13 de novembro de 2006. As amostras coletadas funcionaram como réplicas segundo o teste Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ). Não houve diferença significativa segundo o teste Mann-Whitney ( $p > 0,05$ ) para as amostras de superfície e fundo.

<b>Secretaria de Meio Ambiente</b>			
<b>Sem Macrófita</b>			
<b>Réplicas</b>	<b>Profundidade</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>CH<sub>4</sub></b>
		<b>Superfície</b>	<b>Fundo</b>
	<b>(cm)</b>	<b>(<math>\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}</math>)</b>	<b>(<math>\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}</math>)</b>
1	40	0,16	0,29
1	40	0,26	0,20
1	40	0,29	0,35
1	40	0,26	0,34
1	40	0,18	0,37
1	40	0,23	0,27
1	40	0,25	0,25
1	40	0,32	0,38
1	40	0,30	0,28
1	40	0,24	0,20
2	40	0,29	0,23
2	40	0,25	0,17
2	40	0,22	0,22
2	40	0,23	0,17
2	40	0,22	0,29
2	40	0,32	0,28
2	40	0,17	0,19
2	40	0,27	0,16
2	40	0,31	0,17
2	40	0,22	0,18
3	40	0,23	0,30
3	40	0,18	0,15
3	40	0,15	0,21
3	40	0,36	0,26
3	40	0,25	0,30
3	40	0,17	0,31
3	40	0,30	0,28
3	40	0,35	0,31
3	40	0,16	0,21
3	40	0,14	0,28

Apêndice 7: Conjunto de réplicas coletadas na lagoa do Vigário no campo realizado no dia 27 de novembro de 2006. As amostras coletadas não funcionaram como réplicas segundo o teste Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ). Não houve diferença significativa segundo o teste Mann-Whitney ( $p > 0,05$ ) para as amostras de superfície e fundo.

<b>Chácara da Lagoa</b>			
<b>Sem Macrófita</b>			
<b>Réplicas</b>	<b>Profundidade</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>CH<sub>4</sub></b>
		<b>Superfície</b>	<b>Fundo</b>
	<b>(cm)</b>	<b>(<math>\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}</math>)</b>	<b>(<math>\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}</math>)</b>
1	35	0,25	0,32
1	35	0,21	0,21
1	35	0,19	0,29
1	35	0,29	0,36
1	35	0,28	0,33
1	35	0,25	0,35
1	35	0,21	0,18
1	35	0,20	0,28
1	35	0,31	0,31
1	35	0,22	0,34
2	35	0,17	0,36
2	35	0,14	0,37
2	35	0,20	0,26
2	35	0,22	0,19
2	35	0,17	0,17
2	35	0,17	0,22
2	35	0,27	0,20
2	35	0,18	0,24
2	35	0,18	0,29
2	35	0,22	0,26
3	35	0,26	0,16
3	35	0,23	0,14
3	35	0,23	0,25
3	35	0,19	0,20
3	35	0,22	0,35
3	35	0,21	0,17
3	35	0,18	0,21
3	35	0,19	0,24
3	35	0,21	0,21
3	35	0,18	0,32

Apêndice 8: Conjunto de réplicas coletadas na lagoa do Vigário no campo realizado no dia 24 de janeiro de 2007. As amostras coletadas funcionaram como réplicas segundo o teste Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ).

<b>Secretaria de Meio Ambiente</b>		
<b>Com Macrófita</b>		
<b>Réplicas</b>	<b>Profundidade</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>
	<b>(m)</b>	<b>(<math>\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}</math>)</b>
1	1,5	1,38
1	1,5	2,12
1	1,5	2,42
1	1,5	2,13
1	1,5	1,77
2	1,5	1,11
2	1,5	3,05
2	1,5	1,90
2	1,5	1,79
2	1,5	1,21
3	1,5	3,11
3	1,5	2,81
3	1,5	2,84
3	1,5	1,69

Apêndice 9: Conjunto de réplicas coletadas na lagoa do Vigário no campo realizado no dia 24 de janeiro de 2007. As amostras coletadas funcionaram como réplicas segundo o teste Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ).

<b>Secretaria de Meio Ambiente</b>		
<b>Sem Macrófita</b>		
<b>Réplicas</b>	<b>Profundidade (m)</b>	<b>CH<sub>4</sub> (<math>\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}</math>)</b>
1	1,5	0,51
1	1,5	0,56
1	1,5	0,58
1	1,5	0,59
2	1,5	0,46
2	1,5	0,36
2	1,5	0,51
2	1,5	0,56
2	1,5	0,67
3	1,5	0,25
3	1,5	0,26
3	1,5	0,34
3	1,5	0,20

Apêndice 10: Conjunto de réplicas coletadas na lagoa do Vigário no campo realizado no dia 24 de janeiro de 2007. As amostras coletadas não funcionaram como réplicas segundo o teste Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ).

<b>Secretaria de Meio Ambiente</b>		
<b>Macrófita Cortada Acima</b>		
<b>Réplicas</b>	<b>Profundidade (m)</b>	<b>CH<sub>4</sub> (<math>\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}</math>)</b>
1	1,5	0,77
1	1,5	0,73
1	1,5	0,64
1	1,5	0,71
1	1,5	0,73
2	1,5	1,72
2	1,5	2,25
2	1,5	2,40
2	1,5	1,33
2	1,5	0,90
3	1,5	1,17
3	1,5	0,51
3	1,5	0,66
3	1,5	0,99
3	1,5	1,61

Apêndice 11: Conjunto de réplicas coletadas na lagoa do Vigário no campo realizado no dia 24 de janeiro de 2007. As amostras coletadas funcionaram como réplicas segundo o teste Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ).

<b>Secretaria de Meio Ambiente</b>		
<b>Macrófita Cortada Abaixo</b>		
<b>Réplicas</b>	<b>Profundidade</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>
	<b>(m)</b>	<b>(<math>\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}</math>)</b>
1	1,5	0,80
1	1,5	1,31
1	1,5	0,98
1	1,5	0,91
1	1,5	0,88
2	1,5	0,61
2	1,5	0,97
2	1,5	0,69
2	1,5	0,65
2	1,5	0,53
3	1,5	2,13
3	1,5	1,84
3	1,5	1,32
3	1,5	0,76
3	1,5	0,56

Apêndice 12: Conjunto de réplicas coletadas na lagoa de Cima no campo realizado no dia 14 de agosto de 2006. As amostras coletadas funcionaram como réplicas segundo o teste Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ).

<b>Próximo ao late Club</b>		
<b>Sem Macrófita</b>		
<b>Réplicas</b>	<b>Profundidade</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>
	<b>(cm)</b>	<b>(<math>\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}</math>)</b>
1	21	0,10
1	21	0,10
1	21	0,10
1	21	0,09
1	21	0,07
2	22	0,09
2	22	0,09
2	22	0,08
2	22	0,09
2	22	0,13
3	23	0,10
3	23	0,12
3	23	0,11
3	23	0,12
3	23	0,08

Apêndice 13: Conjunto de réplicas coletadas na lagoa de Cima no campo realizado no dia 13 de novembro de 2006. As amostras coletadas funcionaram como réplicas segundo o teste Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ). Não houve diferença significativa segundo o teste Mann-Whitney ( $p > 0,05$ ) para as amostras de superfície e fundo.

<b>Próximo ao late Club</b>			
<b>Sem Macrófita</b>			
<b>Réplicas</b>	<b>Profundidade</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>CH<sub>4</sub></b>
		<b>Superfície</b>	<b>Fundo</b>
	<b>(cm)</b>	<b>(<math>\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}</math>)</b>	<b>(<math>\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}</math>)</b>
1	45	0,49	0,15
1	45	0,26	0,30
1	45	0,33	0,14
1	45	0,18	0,23
1	45	0,23	0,37
1	45	0,14	0,13
1	45	0,22	0,21
1	45	0,13	0,24
1	45	0,25	0,16
1	45	0,18	0,30
2	45	0,15	0,12
2	45	0,35	0,22
2	45	0,20	0,16
2	45	0,20	0,36
2	45	0,22	0,21
2	45	0,25	0,13
2	45	0,13	0,36
2	45	0,12	0,14
2	45	0,19	0,16
2	45	0,16	0,18
3	45	0,17	0,20
3	45	0,16	0,12
3	45	0,18	0,14
3	45	0,14	0,16
3	45	0,29	0,12
3	45	0,28	0,14
3	45	0,31	0,36
3	45	0,14	0,14
3	45	0,13	0,22
3	45	0,37	0,25

Apêndice 14: Conjunto de réplicas coletadas na lagoa de Cima no campo realizado no dia 27 de novembro de 2006. As amostras coletadas funcionaram como réplicas segundo o teste Kruskal-Wallis ( $p > 0,05$ ). Não houve diferença significativa segundo o teste Mann-Whitney ( $p > 0,05$ ) para as amostras de superfície e fundo.

<b>Próximo ao late Club</b>			
<b>Sem Macrófita</b>			
<b>Réplicas</b>	<b>Profundidade</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>CH<sub>4</sub></b>
		<b>Superfície</b>	<b>Fundo</b>
	<b>(cm)</b>	<b>(<math>\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}</math>)</b>	<b>(<math>\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}</math>)</b>
1	50	0,31	0,23
1	50	0,23	0,38
1	50	0,19	0,42
1	50	0,35	0,17
1	50	0,21	0,21
1	50	0,24	0,47
1	50	0,31	0,25
1	50	0,24	0,36
1	50	0,33	0,17
1	50	0,43	0,26
2	50	0,25	0,26
2	50	0,14	0,20
2	50	0,19	0,26
2	50	0,37	0,19
2	50	0,34	0,27
2	50	0,16	0,17
2	50	0,29	0,24
2	50	0,20	0,26
2	50	0,29	0,28
2	50	0,40	0,44
3	50	0,25	0,27
3	50	0,30	0,33
3	50	0,36	0,26
3	50	0,20	0,41
3	50	0,26	0,41
3	50	0,28	0,26
3	50	0,36	0,31
3	50	0,37	0,31
3	50	0,29	0,29
3	50	0,34	0,30

Apêndice 15: Conjunto de réplicas coletadas na lagoa do Vigário no campo realizado no dia 14 de dezembro de 2005. Houve diferença significativa segundo o Teste T de Student ( $p < 0,05$ ) para as amostras de água superficial e intersticial com relação à concentração de metano.

<b>Chácara da Lagoa</b>			
<b>Com Macrófita</b>			
<b>Réplicas</b>	<b>Profundidade (cm)</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>CH<sub>4</sub></b>
		<b>Superficial (<math>\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}</math>)</b>	<b>Intersticial (<math>\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}</math>)</b>
1	15	1,55	4,10
1	15	1,65	3,72
1	15	2,49	6,35
1	15	1,89	4,72
1	15	1,02	1,91
2	15	0,45	2,77
2	15	0,61	2,34
2	15	0,47	4,37
2	15	0,63	3,33
3	15	0,83	3,27
3	15	1,77	4,51
3	15	0,96	3,87
3	15	1,19	3,30