

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em ENGENHARIA AMBIENTAL

**COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA DA MASSA DE RESÍDUOS  
ATERRADOS EM UM ATERRO SANITÁRIO**

Bruno Guilherme Denardi Zanatta

Rio Claro (SP)  
2012

BRUNO GUILHERME DENARDI ZANATTA

# COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA DA MASSA DE RESÍDUOS ATERRADOS EM UM ATERRO SANITÁRIO

*Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro (SP), da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.*

Orientador: Prof. Dr. Marcus César Avezum Alves de Castro  
Co-orientador: Prof. Dr. Wellington Cyro de Almeida Leite

Rio Claro (SP)  
2012

628      Zanatta, Bruno Guilherme Denardi  
Z27c      Comportamento da temperatura da massa de resíduos  
            aterrados em um aterro sanitário / Bruno Guilherme Denardi  
            Zanatta. - Rio Claro : [s.n.], 2012  
            54 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros, fots., mapas

            Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Engenharia  
            Ambiental) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de  
            Geociências e Ciências Exatas  
            Orientador: Marcus César Avezum Alves de Castro  
            Co-Orientador: Wellington Cyro de Almeida Leite

            1. Engenharia sanitária. 2. Degradação de resíduos. 3.  
            Atividade biológica. 4. Rio Claro - SP. I. Título.

BRUNO GUILHERME DENARDI ZANATTA

## COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA DA MASSA DE RESÍDUOS ATERRADOS EM UM ATERRO SANITÁRIO

*Trabalho de Formatura apresentado ao  
Instituto de Geociências e Ciências  
Exatas, Campus de Rio Claro (SP), da  
Universidade Estadual Paulista Júlio  
de Mesquita Filho, para obtenção do  
grau de Engenheiro Ambiental.*

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Marcus César Avezum Alves de Castro (orientador)  
Prof. Dr. Wellington Cyro de Almeida Leite  
Prof. Dr. Valdir Schalch

Rio Claro, 21 de Novembro de 2012.

---

assinatura do(a) aluno(a)

---

assinatura do(a) orientador(a)

*Dedico este trabalho a todas as pessoas que me apoiaram e lutaram ao meu lado durante toda a minha vida, tanto nos bons momentos quanto em ruins, transmitindo alegria, determinação, fé e principalmente esperança e paciência.*

*“A amizade duplica as alegrias e divide as tristezas.”*

*(Francis Bacon)*

## AGRADECIMENTOS

A minha família e em especial aos meus pais, Osmar e Denise, minha tia Darlene e minhas avós Filomena e Mafalda, por todo o apoio dado em todas as situações vivenciadas e decisões tomadas.

Aos grandes professores que tive e principalmente aos meus professores orientadores, Marcus e Cyro, por todo o apoio dado nas horas de dificuldades, me ensinando como proceder e me portar diante de tantas situações e também por toda a paciência.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP – pela bolsa de iniciação concedida, e verba destinada ao processo 2011/20081-0.

A todos os meus amigos da Engenharia ambiental e principalmente a turma de 2008, por me aturar cantando antes das provas, pelas piadas, enfim, por compartilhar tantos momentos engraçados e hilários. Foram, com certeza, os cinco melhores anos da minha vida justamente por estar com vocês! Não podemos escolher com quem estudaremos assim que passamos no vestibular, mas tenham certeza que, se pudesse, escolheria cada um de vocês! Um agradecimento especial aos ‘bródis’ Carioca, Sangue, Pinto, Barbie, Rosa, Sarita, Elis, Rafaella, Luana, Natasha, Carreteira, He-man, Bia e Paqueta por compartilhar felicidades ainda maiores.

Aos funcionários do aterro sanitário municipal de Rio Claro – SP, Maurício Ceroweira Trindade, Jorge Jose Zuizke e Vilson Roberto de Lima pela colaboração nos trabalhos de campo e fornecimento de informações.

A secretária do SEPLADEMA Regina Ferreira da Silva e aos funcionários da Prefeitura Municipal de Rio Claro – SP, Luiz Antonio Serafin, Mario Aparecido Andreatto e Antonio Arnoldo Andrade Maciel pela autorização para a realização do trabalho e informações sobre a geração de resíduos.

A todas as pessoas que conheci e pude ter contato através do esporte na UNESP Rio Claro: ao Tênis, Voleibol, Futsal, Handebol e finalmente ao Handebol Feminino: ser técnico de uma equipe não é fácil, de uma equipe feminina poderia ser pior, mas não foi...! Vocês me ajudaram momentos de tristeza e de alegria, me proporcionaram e compartilharam emoções e felicidades nesses dois anos.

A todas as outras pessoas muito especiais que passaram na minha vida durante esses cinco anos acadêmicos e tornaram isso tudo mais fácil: Tati, Anderson, Guy, César, Fabinho, Ellen, dentre tantas outras, muito obrigado!

*“Nossa glória não é nunca haver caído, e sim  
ter levantado depois de cada queda”*

*(Confúcio)*

## RESUMO

No presente trabalho investiga-se a variação da temperatura da massa de resíduos, ao longo da profundidade em um aterro sanitário de resíduos domiciliares do município de Rio Claro – SP, interior de São Paulo, possuindo um clima caracterizado como Tropical de Altitude. Nesta pesquisa, foram realizadas duas perfurações, em dois pontos distintos do aterro, com diferentes profundidades e características, visando à fixação de diversos sensores térmicos – termoresistências - para o registro da temperatura em profundidades previamente determinadas. De maneira geral, os resultados mostraram a influência da temperatura ambiente em profundidades de até 3,0 metros (a partir da superfície) e que esta varia de uma forma a estabilizar-se em profundidades acima de 5,0 metros. As maiores temperaturas obtidas foram de aproximadamente 37,5 °C para resíduos com um tempo de disposição de 7 a 10 anos. Os resultados demonstraram a presença de matéria orgânica (substrato) o que resultou em elevadas temperatura decorrentes da atividade biológica.

**Palavras-chave:** Resíduos Sólidos, Aterro Sanitário, Temperatura, Degradação de Resíduos, Atividade Biológica.

## ABSTRACT

In this paper we investigate the temperature variation of the mass of waste along the depth in a household waste landfill of Rio Claro - SP, São Paulo, having a climate characterized as Tropical Altitude. In this research, there were two holes in two distinct points of the landfill, with different depths and characteristics in order to fix several thermal sensors - RTDs - to record the temperature at predetermined depths. Overall, the results show the influence of temperature at depths of up to 3.0 meters (from the surface) and that it varies in a manner to stabilize at depths above 5.0 meters. The highest temperature obtained was approximately 37.5 ° C for a time of waste disposal of 7 to 10 years. The results showed the presence of organic matter (substrate) which resulted in elevated temperature resulting from biological activity

**Keywords:** Solid Waste Landfill, Temperature, Waste Degradation, Biological Activity.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Disposição dos resíduos sólidos domiciliares dos municípios do Estado de São Paulo .....	18
<b>Figura 2</b> Taxa de geração dos principais constituintes do biogás em aterros sanitários	19
<b>Figura 3</b> Variação da temperatura dos resíduos ao longo da profundidade em uma célula do Aterro de Muribeca-PE .....	22
<b>Figura 4</b> Exemplo do perfil da temperatura em diversos anos em Michigan .....	23
<b>Figura 5</b> Exemplo do perfil da temperatura em diversos anos em British Columbia....	24
<b>Figura 6</b> Típicos exemplos da variação da temperatura com a profundidade .....	25
<b>Figura 7</b> Variação da temperatura na profundidade de 1 metro .....	26
<b>Figura 8</b> Variação da temperatura com a profundidade .....	27
<b>Figura 9</b> Variação da temperatura com a profundidade em diversas células com diferentes idades de resíduo.....	28
<b>Figura 10</b> Variação da temperatura com a profundidade .....	29
<b>Figura 11</b> Localização do município de Rio Claro - SP.....	30
<b>Figura 12</b> Localização do aterro sanitário municipal de Rio Claro - SP .....	32
<b>Figura 13</b> Aterro sanitário municipal de Rio Claro - SP .....	32
<b>Figura 14</b> Seleção dos pontos de tomada de temperatura .....	35
<b>Figura 15</b> Localização dos drenos do aterro sanitário municipal de Rio Claro - SP.....	36
<b>Figura 16</b> Distribuição espacial dos pontos escolhidos para a perfuração e instalação das termoresistências .....	38
<b>Figura 17</b> Variação da temperatura para diferentes profundidades nos pontos P1 (massa de resíduos) e “controle” (solo).....	41
<b>Figura 18</b> Variação diária da temperatura ambiente (dia mais frio do período) em relação à temperatura da massa de resíduos, para diferentes profundidades.....	43
<b>Figura 19</b> Variação diária da temperatura ambiente (dia mais quente do período) em relação à temperatura da massa de resíduos, para diferentes profundidades.....	43
<b>Figura 20</b> Média das temperaturas e o desvio padrão para cada profundidade.....	45
<b>Figura 21</b> Variação da temperatura da massa de resíduos e precipitação pluviométrica. ....	45

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> Caracterização física, em porcentagem de massa, dos Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD) de alguns municípios brasileiros. ....	17
<b>Tabela 2</b> Características do município de Rio Claro – SP.....	31
<b>Tabela 3</b> Características do aterro sanitário municipal de Rio Claro - SP .....	33
<b>Tabela 4</b> Temperaturas encontradas no dia mais quente e no dia mais frio .....	44

## LISTA DE ABREVIADURAS E SIGLAS

*ABNT* Associação Brasileira de Normas Técnicas

*ABRELPE* Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

*CEMPRE* Compromisso Empresarial para a Reciclagem

*CETESB* Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

*Ha* hectares

*Hab.* habitantes

*IBGE* Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

*IPCC* Intergovernmental Panel on Climate Change

*IPT* Instituto de Pesquisas Tecnológicas

*MMA* Ministério do Meio Ambiente

*NBR* Norma Brasileira Registrada

*PCJ* Bacias do Piracicaba, Capivari e Jundiá

*PNRS* Política Nacional de Resíduos Sólidos

*RAP* Relatório Ambiental Preliminar

*RD* Resíduos Domiciliares

*RSU* Resíduos Sólidos Urbanos

*SMA* Secretaria de Estado do Meio Ambiente

*t.* toneladas

*UGRHI* Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

*USEPA* United States Environmental Protection Agency

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>16</b>
3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES: COMPOSIÇÃO E TAXA DE GERAÇÃO .....	16
3.2 DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES EM ATERROS SANITÁRIOS ...	17
3.2.1 <i>Decomposição da matéria orgânica em aterros sanitários .....</i>	<i>18</i>
3.2.2 <i>Comportamento da temperatura na massa de resíduos .....</i>	<i>21</i>
3.3 AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA GERAÇÃO DE BIOGÁS NO ATERRO SANITÁRIO DE RIO CLARO - SP .....	22
3.4.1 <i>Variação de temperatura de acordo com o tempo de disposição dos resíduos em aterros sanitários.....</i>	<i>27</i>
3.5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	29
3.5.1 <i>Rio Claro .....</i>	<i>29</i>
3.5.2 <i>Aterro sanitário municipal .....</i>	<i>31</i>
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
4.1 MATERIAIS .....	33
4.1.1 <i>Definição dos sensores de temperatura e dos procedimentos de instalação no aterro sanitário municipal.....</i>	<i>34</i>
4.2 MÉTODOS .....	34
4.2.1 <i>Seleção da localização dos pontos e suas profundidades .....</i>	<i>34</i>
4.2.2 <i>Calibração e instalação dos sensores de temperatura.....</i>	<i>39</i>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>41</b>
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>46</b>
<b>7. RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>46</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>46</b>
<b>9. APÊNDICE .....</b>	<b>53</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento da geração de resíduos sólidos e sua disposição adequada em aterros sanitários tornaram-se um desafio para as administrações públicas, pois requerem um planejamento prévio e elevados investimentos financeiros. No Estado de São Paulo, são produzidas aproximadamente 26 mil toneladas diárias de resíduos sólidos domiciliares (CETESB, 2011) e, no Brasil, a coleta dos resíduos é realizada em todos os municípios do país (IBGE, 2010).

Recentemente, o monitoramento da temperatura na massa de resíduos de aterros tem recebido um interesse renovado, após a verificação que elevadas temperaturas causadas pela decomposição biológica dos resíduos podem ter um impacto significativo sobre a vida dos componentes geossintéticos utilizados na base de aterros, para além do já estabelecido efeitos sobre a atividade biológica (BOUAZZA et al. (2011) apud ROWE & ISLAM 2009).

A temperatura na massa de resíduos em um aterro sanitário influencia os tipos de bactérias predominantes e na sua atividade, conseqüentemente, no nível de produção de gás. As máximas temperaturas do aterro são alcançadas normalmente dentro de 45 dias após a disposição dos resíduos, como resultado da atividade aeróbia microbiológica. As temperaturas típicas do gás produzido em um aterro variam, tipicamente, entre 30 a 60°C (LEITE, 1991).

A escolha do aterro sanitário municipal de Rio Claro - SP deu-se por este localizar-se em um município de porte médio, Rio Claro, que possui aproximadamente 190.000 mil habitantes, e inserido na classificação de 100.001 a 500.000 habitantes do IBGE, representando 25,5% da população do país (IBGE, 2010). O aterro possui diversos aspectos que contribuirão para os objetivos deste estudo, como resíduo com diferentes tempos de disposição está atualmente em operação e possui licença de operação do órgão ambiental estadual.

Segundo Yesiller et al. (2005), embora vários estudos tenham sido realizados para avaliar a geração e distribuição de lixiviado e biogás em aterros sanitários, os estudos da análise de geração de calor e distribuição de temperatura tem sido limitados.

Portando, conhecer o comportamento da temperatura em aterros sanitários, e sua utilização como indicador da atividade biológica e da idade dos resíduos, contribuirá para o avanço dos estudos do processo de digestão anaeróbia e da geração de metano em aterros sanitários.

## **2. OBJETIVOS**

A pesquisa tem por objetivo geral investigar o comportamento da temperatura na massa de resíduos no aterro sanitário municipal de Rio Claro - SP.

Nesse sentido, a presente pesquisa tem por objetivos específicos:

- Estudar o gradiente da temperatura em diferentes profundidades do aterro;
- Verificar a interferência da temperatura ambiente na temperatura dos resíduos aterrados, para diferentes condições operacionais do aterro;
- Avaliar a influência da precipitação (teor de umidade nos resíduos) na variação da temperatura.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Resíduos sólidos domiciliares: composição e taxa de geração**

A geração de resíduos sólidos é uma consequência da atividade humana. Segundo Tchobanoglous et al. (1993), desde as sociedades primitivas o homem utiliza o planeta Terra como fonte de recursos e como local para dispor os resíduos por ele gerados.

Porém, recentemente, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei Federal 12.305/2010, apresenta uma definição mais específica do assunto. Resíduo sólido

[...] é um material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

Dentre os resíduos sólidos, os resíduos domiciliares são aqueles originados, na vida diária nas residências e no comércio, constituídos por restos de alimentos (matéria orgânica), papéis, papelão, jornais e revistas, plástico, vidros, entre outros. No Brasil são geradas em torno 183.488 toneladas diárias de resíduos sólidos domiciliares (IBGE, 2010).

A tabela 1 traz a caracterização física dos resíduos domiciliares em várias cidades do Brasil.

**Tabela 1** Caracterização física, em porcentagem de massa, dos Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD) de alguns municípios brasileiros.

CIDADE	ANO PUBLICAÇÃO	PLÁSTICO	VIDRO	METAL	PAPEL	MATÉRIA ORGÂNICA	OUTROS
São Carlos (SP)	1989	8,50	1,40	5,40	21,30	56,70	6,70
Juiz de Fora (MG)	1990	10,78	1,36	3,23	14,60	68,12	1,91
Manaus (AM)	1992	8,62	2,18	4,31	18,94	58,69	7,26
Curitiba (PR)	1993	6,00	2,00	2,00	3,00	66,00	21,00
Rio de Janeiro (RJ)	1993	15,00	3,00	4,00	23,00	22,00	33,00
Araraquara (SP)	1996	12,10	0,84	2,80	2,10	82,16	-
Fortaleza (CE)	1999	20,00	5,00	5,00	5,00	45,00	20,00
Botucatu (SP)	2000	8,37	1,90	3,85	7,61	74,17	4,01
Caixias do Sul (RS)	2003	14,62	2,42	2,49	11,82	45,97	22,68

Fonte: Frésca (2007 apud Zanin & Mancini, 2004, p. 66)

A grande quantidade de matéria orgânica presente nos RSD responsabiliza-se pela elevada atividade biológica, contribuindo, significativamente, para os impactos ambientais, associados à disposição desses resíduos em aterros sanitários, principalmente na geração de gases de efeito estufa e na formação de lixiviado, que contribuem para a poluição e contaminação dos solos e dos recursos hídricos, além da geração de odores e atração de vetores de doenças.

### 3.2 Disposição final de resíduos sólidos domiciliares em aterros sanitários

A técnica adequada para a disposição final de Resíduos Sólidos Domiciliares no solo é o aterro sanitário, porém outras formas de disposição, como aterros controlados e lixões, apesar de irregulares, são práticas correntes no Brasil.

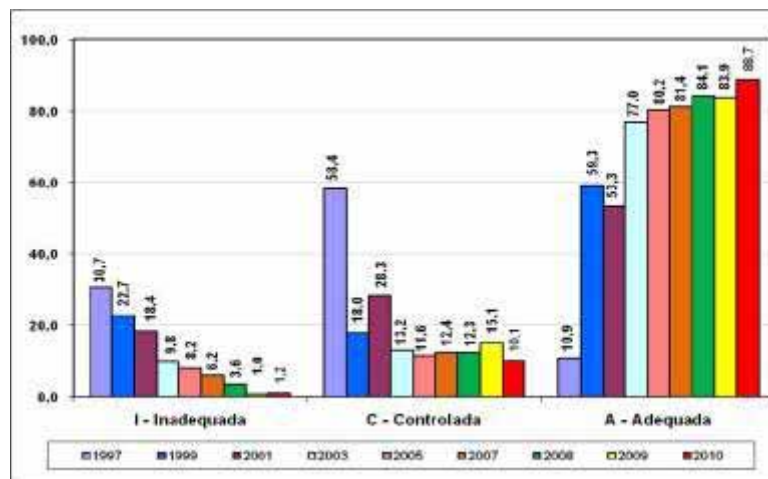
Segundo a ABNT NBR 8.419/1992, aterro sanitário

[...] consiste na técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou em intervalos menores caso seja necessário.

O aterro sanitário de resíduos domiciliares é um sistema dinâmico formado pela massa de resíduos, sobre o qual processos físicos, químicos e biológicos ocorrem, promovendo a degradação da fração orgânica com geração de líquidos percolados e gases (ALCÂNTARA, 2007).

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos (ABRELPE, 2009), 56,8% dos resíduos sólidos coletados eram destinados a aterros sanitários, 23,9% em aterros controlados e 19,3% em lixões.

No caso do Estado de São Paulo, a quantidade de resíduos dispostos adequadamente em aterros sanitários passou de 10,9% do total gerado em 1997, para 88,7% em 2010 (CETESB, 2011, p. 174).



**Figura 1** Disposição dos resíduos domiciliares dos municípios do Estado de São Paulo

Fonte: CETESB (2011, p.174)

Através da observação da Figura 1, desde o início das pesquisas em 1997 até o presente momento, houve um grande aumento na disposição adequada dos resíduos sólidos domiciliares, e uma diminuição na forma de disposição inadequada.

### 3.2.1 Decomposição da matéria orgânica em aterros sanitários

Os resíduos ao serem depositados em aterros sanitários, normalmente permanecem por até um dia descobertos e em contato com o ar atmosférico, até serem compactados e aterrados. Neste período já se constata a emissão de compostos voláteis (CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>) resultantes da decomposição da fração orgânica dos resíduos. Esses compostos continuarão a ser emitidos mesmo após a aplicação do material de cobertura e o fechamento da célula do aterro.

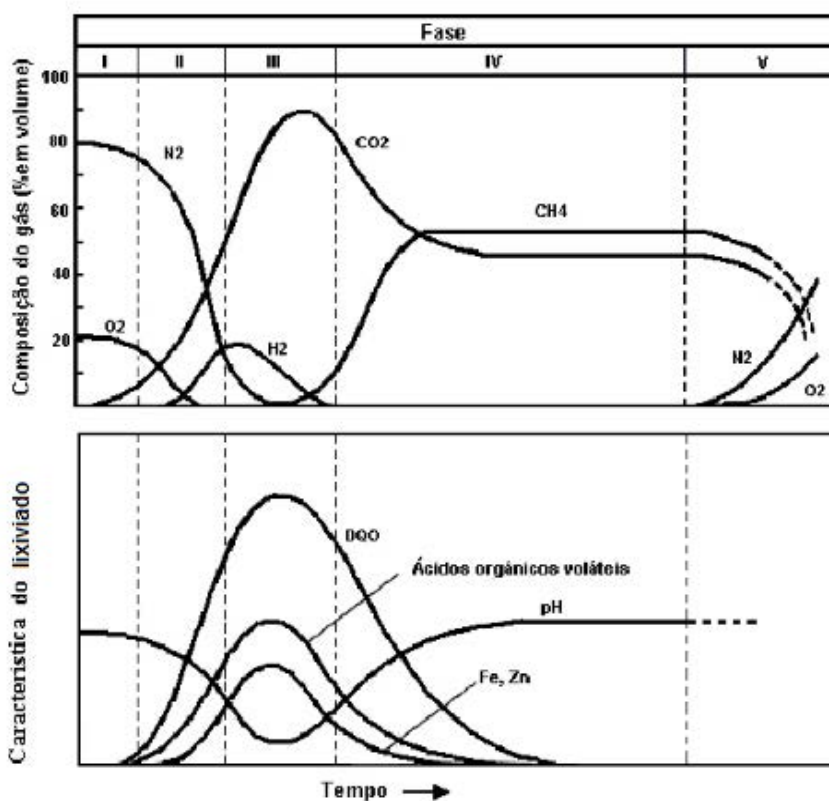
A temperatura e a transferência de calor influenciam os processos biológicos, químicos, que ocorrem na degradação dos resíduos, além de influenciar na durabilidade da geomembrana de impermeabilização do aterro. Ótimas faixas de temperatura para a produção de biogás a partir da decomposição de resíduos foram relatadas entre 34 e 45 °C a partir de estudos de laboratório e de campo (HANSON et al. (2010) apud DeWalle et al (1978); Rees (1980); Hartz et al (1982); Mata-Alvarez e Martinez-Viturtia (1986)).

Segundo McBean et al. (1995), os processos da digestão anaeróbia são melhores conduzidos nas faixas mesofílica (25 a 40°C) e termofílica (45 a 70°C), embora não haja consenso sobre os limites inferiores e superiores para essas faixas de temperatura. As termófilas geralmente produzem altas taxas de geração de gás; contudo, a maior parte dos aterros ocorre na faixa das mesófilas.

Mudanças bruscas na temperatura podem afetar o desempenho da digestão adversamente (PARKIN & OWEN, 1986) e, conseqüentemente, a produção do biogás.

De acordo com USEPA (2004 apud HUTRIC & SONI, 1997), em um estudo experimental em digestor de RSU, a taxa de geração de gás máxima foi obtido em dois pontos: próxima a 40°C, quando as bactérias mesofílicas estão presentes, e entre 55 e 60°C, quando as bactérias termofílicas estão presentes. Para temperaturas abaixo de 40°C, as taxas de geração de gás diminuem rapidamente com o decréscimo de temperatura.

A formação e a taxa de geração dos principais constituintes do biogás em aterros sanitários são variáveis ao longo do tempo e segue várias fases distintas que podem ser observadas na Figura 2 a seguir:



**Figura 2** Taxa de geração dos principais constituintes do biogás em aterros sanitários

Fonte: TCHOBANOGLOUS (1993)

As diversas fases apresentadas na figura anterior são descritas a seguir

(TCHOBANOGLIOUS, 1993):

Fase I (Ajuste inicial): A decomposição biológica da matéria orgânica ocorre principalmente em condições aeróbias, devido à presença de certa quantidade de ar no interior do aterro. A principal fonte de microrganismos para a decomposição aeróbia e anaeróbia nessa fase é o solo que é usado como material de cobertura para divisão das células do aterro e como cobertura final.

Fase II (Transição): a quantidade de oxigênio decai e as reações anaeróbias se desenvolvem. Nitratos e sulfatos que podem servir como receptores de elétrons nas reações biológicas de conversão. As reações de redução podem ser monitoradas medindo-se o potencial de óxido-redução do resíduo, ocorrendo aproximadamente entre -50 a -100 milivolts para nitratos e sulfatos. A produção do metano ocorre com valores entre -150 a -300 milivolts. Com a continuidade da queda do potencial de óxido-redução os microrganismos responsáveis pela conversão da matéria orgânica em metano e dióxido de carbono iniciam a conversão do material orgânico complexo em ácidos orgânicos e outros produtos intermediários. Nesta fase o pH do chorume começa a cair devido à presença de ácidos orgânicos e pelo efeito das elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> dentro do aterro.

Fase III (Ácida): as reações iniciadas na fase de transição são aceleradas com a produção de quantidades significativas de ácidos orgânicos e quantidades menores de gás hidrogênio. A primeira das três etapas do processo envolve transformação enzimática (hidrólise) dos compostos de maior massa molecular (lipídeos, polissacarídeos, proteínas e ácidos nucleicos) em compostos apropriados para o uso como fonte de energia pelos microrganismos. A segunda etapa do processo (acidogênese) envolve a conversão microbiológica dos compostos resultantes da primeira etapa em compostos intermediários com massa molecular menor, como o ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH) e pequenas concentrações de outros ácidos mais complexos. O dióxido de carbono é o principal gás gerado durante esta fase e os microrganismos envolvidos nesta conversão, descritos como não-metanogênicos, são constituídos por bactérias anaeróbias estritas e facultativas. As demandas bioquímica (DBO) e química de oxigênio (DQO) e a condutividade do chorume aumentam significativamente durante esta fase devido à dissolução de ácidos orgânicos no chorume. Também devido ao baixo pH, constituintes inorgânicos como os metais pesados serão solubilizados.

Fase IV (Metanogênica estável): nesta fase predominam microrganismos estritamente anaeróbios, denominados metanogênicos, que convertem ácido acético e

gás hidrogênio em CH<sub>4</sub> (50 – 60%) e CO<sub>2</sub> (40 – 50%). A formação do metano e dos ácidos prossegue simultaneamente, embora a taxa de formação dos ácidos seja reduzida consideravelmente. O pH do chorume nesta fase tende a ser mais básico, na faixa de 6,8 a 8,0.

Fase V (Maturação): Esta fase ocorre após grande quantidade do material orgânico ter sido biodegradado e convertido em CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> durante a fase metanogênica. Como a umidade continua a migrar pela massa de resíduo, porções de material biodegradável ainda não convertidos acabam reagindo. A taxa de geração do gás diminui consideravelmente, pois a maioria dos nutrientes disponíveis foi consumida nas fases anteriores e os substratos que restam no aterro são de degradação lenta. Dependendo das medidas no fechamento do aterro, pequenas quantidades de nitrogênio e oxigênio podem ser encontradas no gás do aterro.

### 3.2.2 *Comportamento da temperatura na massa de resíduos*

As variações sazonais, o tempo de disposição dos resíduos e a umidade disponível têm efeitos significativos sobre as temperaturas da massa de resíduos aterrada. (YESILLER et al. (2003)).

COUMOULOS et al. (1995), observou que para pequenas profundidades (até aproximadamente 20m) as temperaturas variam entre 40°C e 60°C, independente das condições ambientais e para profundidades maiores de 20 metros, a temperatura diminui consideravelmente (entre 5°C e 15°C.).

Segundo Hanson et al. (2010) apud ROWE (2005), altas temperaturas têm efeitos adversos sobre os sistemas de revestimento, incluindo redução do tempo de vida de geossintéticos e dessecação de argila, o que pode causar o desenvolvimento de características secundárias (por exemplo, rachaduras) aumento na geração de lixiviado e de biogás.

A temperatura é um fator favorável à ação microbiana, portanto o processo de degradação do resíduo é naturalmente mais rápido nos aterros situados em regiões de clima tropical em relação aos aterros em regiões de clima temperado. Embora a variação da temperatura externa seja atenuada no interior do aterro, devido à propriedade do resíduo em atuar como isolante térmico, a manutenção de uma temperatura externa alta permite a manutenção da temperatura interna em um patamar também elevado (BARBOSA, 1994).

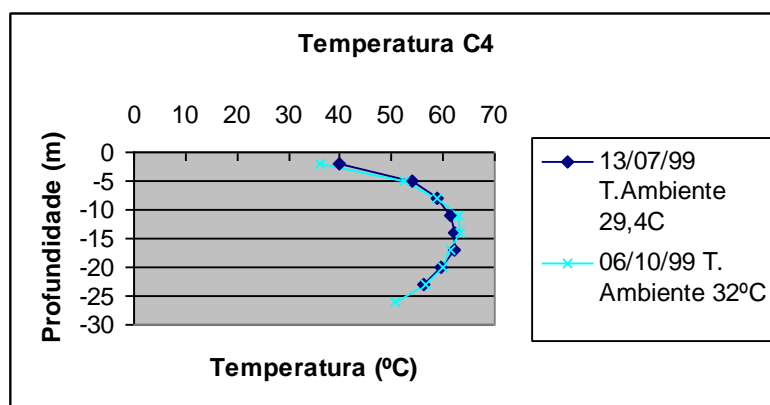
Segundo Teixeira (1993), a temperatura possui efeitos sobre o crescimento das bactérias, influenciando a composição química, a atividade enzimática e a nutrição das

células, interferindo na velocidade das reações bioquímicas. Ao contrário dos organismos superiores, os microrganismos que atuam na decomposição dos resíduos não controlam a temperatura de seu organismo, que está sendo regulada pela temperatura ambiente.

Por outro lado, nos estudos de processos anaeróbios, são considerados que as concentrações de enzimas catalisadoras das reações que se processam não se mantêm constantes com o tempo. Pode haver, em alguns casos, uma decomposição relativamente rápida desses catalisadores, em decorrência de condições ambientais pouco favoráveis, particularmente da temperatura, que afeta a predominância das espécies na dinâmica populacional (LEITE, 1991).

### 3.3 Avaliação da influência da temperatura na geração de biogás no aterro sanitário de Rio Claro - SP

Monteiro, V.E.D. & Jucá, J.F.T. (1999), realizando pesquisa no Aterro de Muribeca, em Recife-PE observaram valores de temperatura elevados e crescentes longo da profundidade, para célula de resíduo recente, com elevada atividade microbiana e estágio de decomposição inicial. Em áreas com resíduos depositados a vários anos, observou-se temperaturas constantes. A Figura 3 demonstra a variação da temperatura ao longo da profundidade do aterro de Muribeca.



**Figura 3** Variação da temperatura dos resíduos ao longo da profundidade em uma célula do Aterro de Muribeca-PE

**Fonte:** Monteiro, V.E.D. & Jucá, J.F.T. (1999)

Segundo Hanson et al. (2010), as temperaturas máximas observadas na massa de resíduos relatadas na literatura variou de cerca de 40 a 65 °C para alturas de resíduos de 20 a 60 metros nos estudos que foram conduzidos ao longo do tempo.

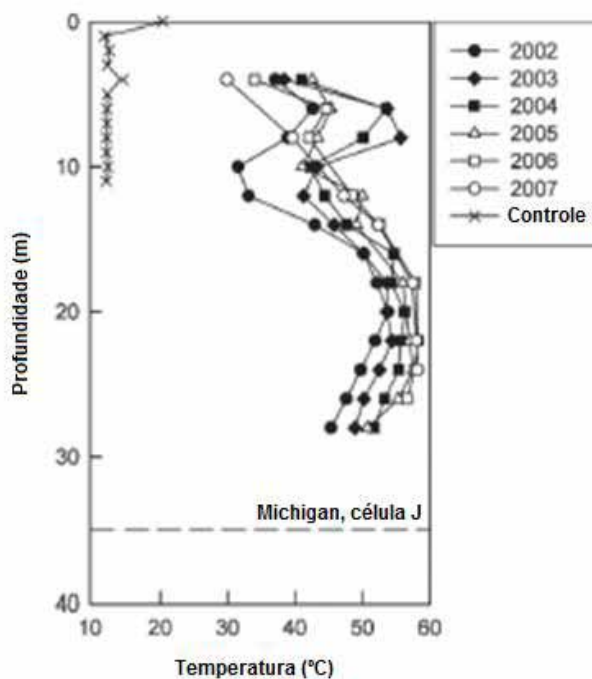
Esse mesmo autor realizou um estudo em quatro aterros sanitários, com diferentes características, como mostra o Quadro 1 abaixo:

**Quadro 1.** Estatísticas climáticas e operacionais dos aterros sanitários estudados

Parâmetro	Alaska	British Columbia	Michigan	New Mexico
Clima	Boreal Oceânico	Floresta oceânica	Temperado continental umido	Semideserto
Média da temperatura do ar (°C)	2.3	9.9	9.8	18.2
Média anual de precipitação (mm)	408	1167	835	240
Área destinada a disposição de resíduos (m <sup>2</sup> )	670.000	2.250.000	650.000	790.000
Resíduos dispostos (t/ano)	317.000	390.000	965.000	114.000
Altura da coluna de resíduos (m)	28.7	11.3	25.2	13.2

**Fonte:** Hanson et al. (2010), adaptado pelo autor

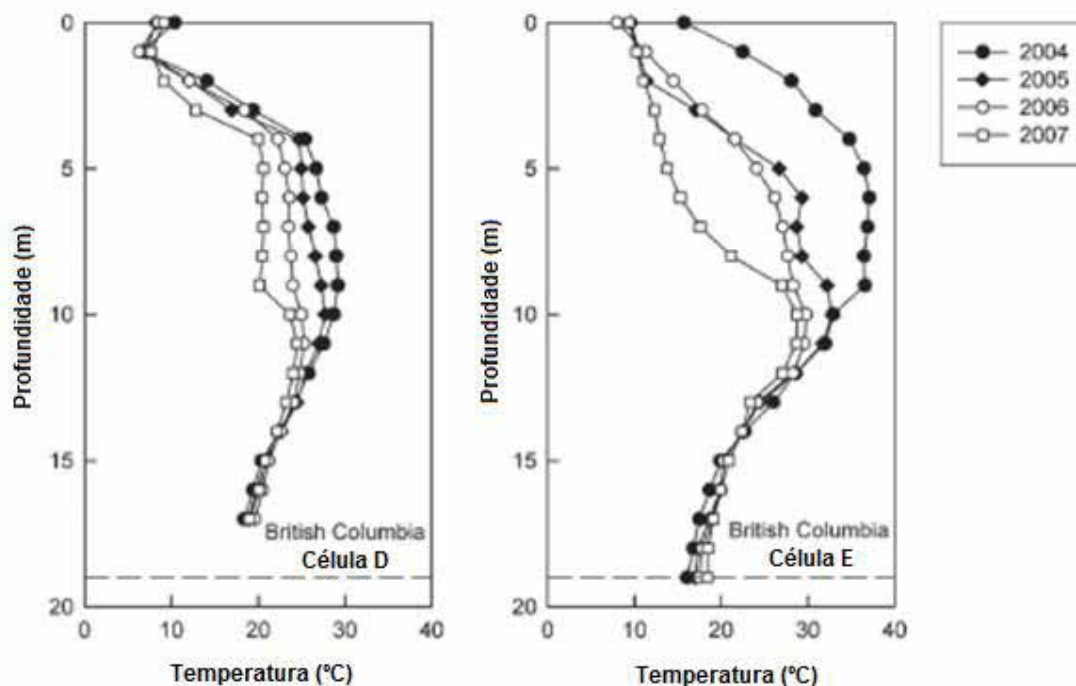
Nesse estudo, foram realizadas instalações verticais de termopares subsequentes a disposição dos resíduos, de forma a determinar as variações de temperatura com a profundidade e tempo de disposição dos resíduos num determinado local. As Figuras 4 e 5 mostram a variação da temperatura com a profundidade em anos subsequentes.



**Figura 4** Exemplo do perfil da temperatura em diversos anos em Michigan

**Fonte:** Hanson et al. (2010)

Ainda segundo esse mesmo autor, a variação característica da temperatura dos resíduos em função da profundidade é constituída por temperaturas máximas perto das profundidades médias e temperaturas mais baixas tanto acima como abaixo desta zona central.



**Figura 5** Exemplo do perfil da temperatura em diversos anos em British Columbia

**Fonte:** Hanson et al. (2010)

Yesiller et al. (2005) apresenta as temperaturas ambientes usando representações senoidais para maior clareza nas parcelas. Neste mesmo estudo, os parâmetros (magnitude e variação) da temperatura perto da superfície foram semelhantes para as temperaturas ambientes senoidais, enquanto que as temperaturas em maior profundidade foram elevadas e relativamente constantes. A amplitude em profundidades médias é menor em comparação com as flutuações de superfície do solo de temperatura. A Figura 6 representa as variações de temperatura com a profundidade em diferentes locais de estudo.

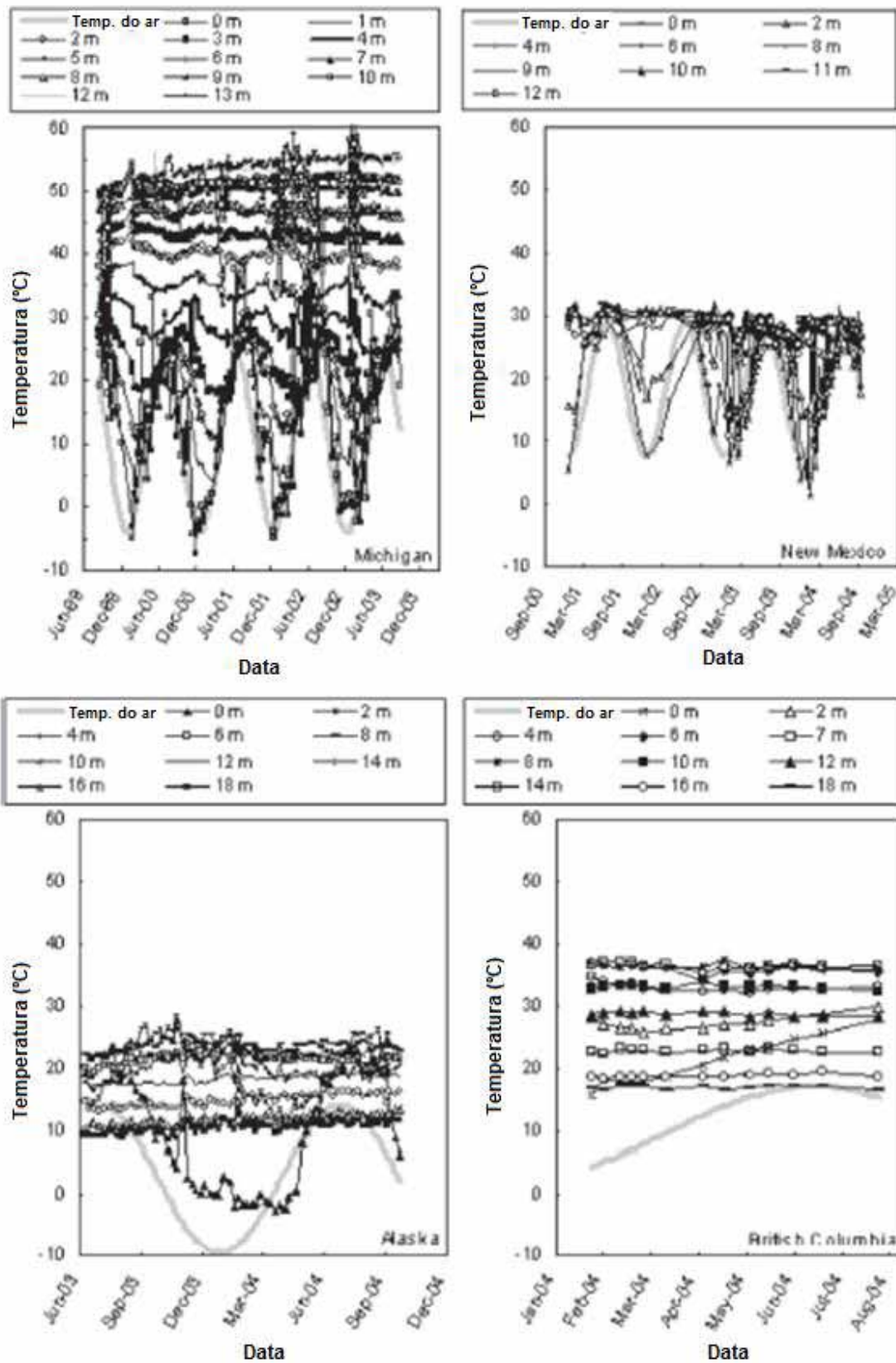
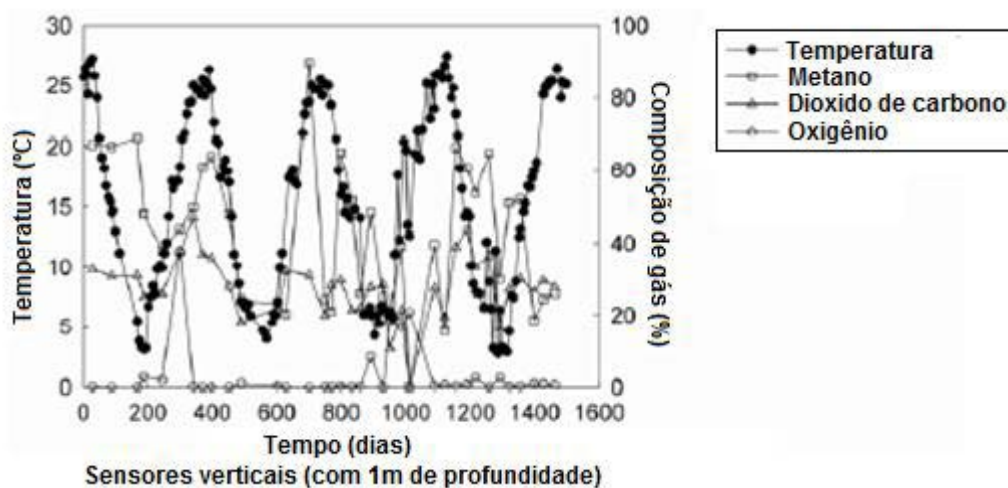


Figura 6 Típicos exemplos da variação da temperatura com a profundidade

Fonte: Yesiller et al. (2005)

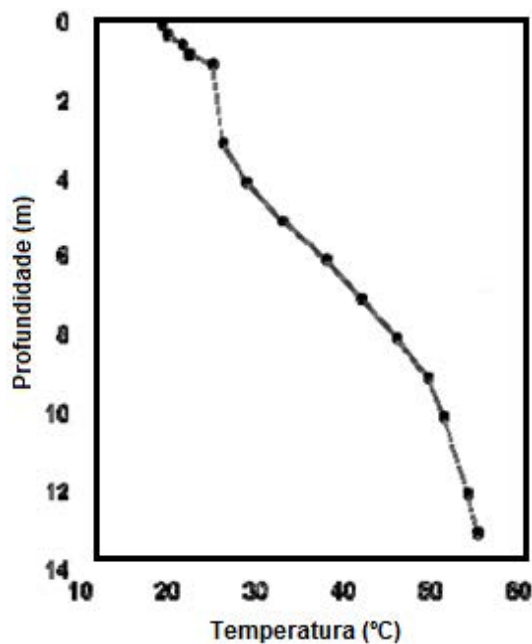
Segundo Yesiller et al. (2011), em profundidades próximas à superfície do aterro, a decomposição de resíduos foi inibida durante os meses frios (200, 600, 900, 1300 dias), tal como o metano e as concentrações de dióxido de carbono. Em meses quentes (0, 400, 700, 1100, 1400 dias), as temperaturas atingiram níveis que permitiram maior atividade microbiana, o que resultou em maior concentração de metano e dióxido de carbono, como mostra a Figura 7.



**Figura 7** Variação da temperatura na profundidade de 1 metro

Fonte: Yesiller et al. (2011)

Segundo esse mesmo estudo, temperaturas elevadas foram encontradas em profundidades médias (15,0 metros) e temperaturas menores foram encontradas próximas da superfície do aterro e abaixo das profundidades médias (abaixo de 15,0 metros). Assim, a temperatura adquire uma forma convexa, como mostra a Figura 8.

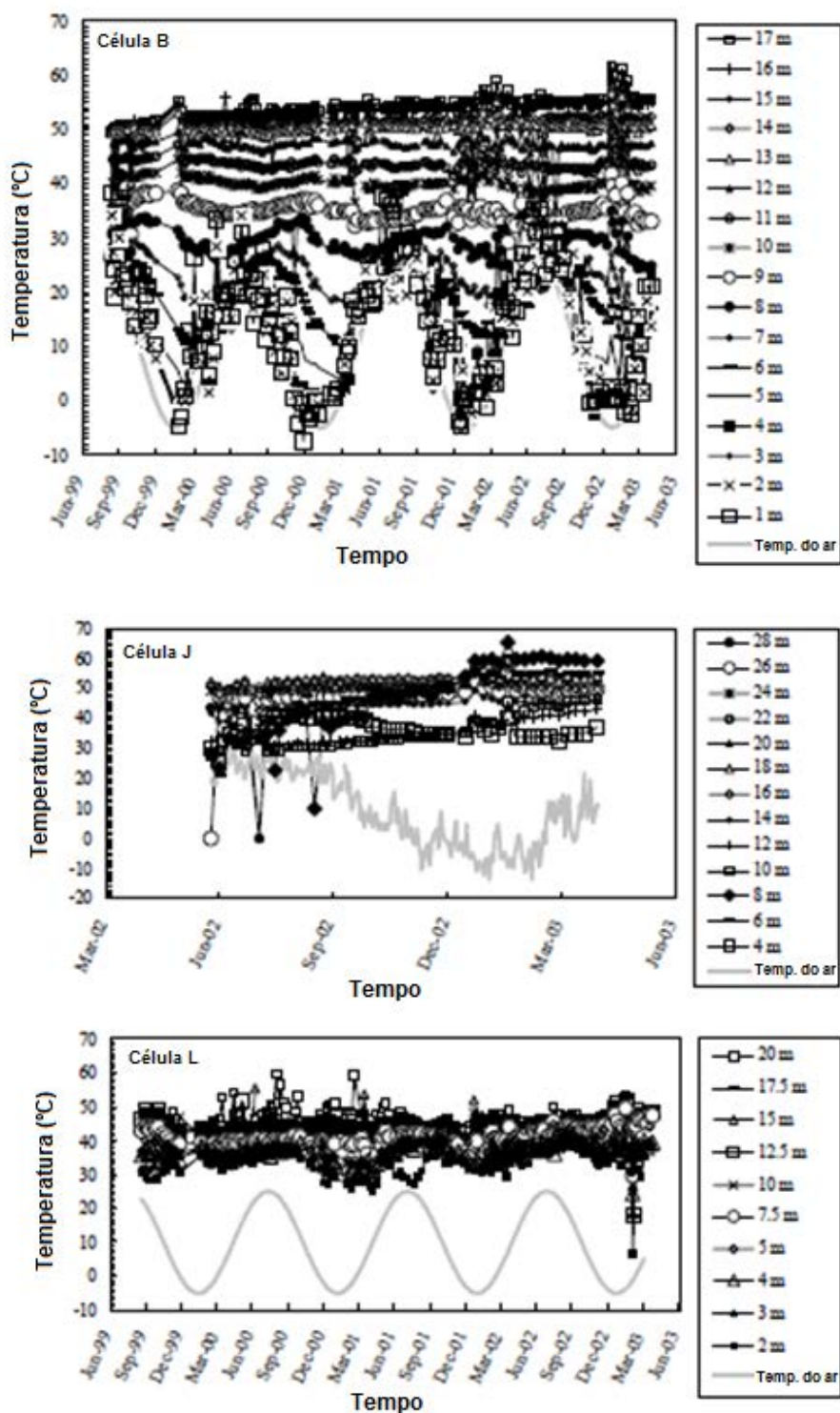


**Figura 8** Variação da temperatura com a profundidade

Fonte: Yesiller et al. (2011)

#### 3.4.1 *Variação de temperatura de acordo com o tempo de disposição dos resíduos em aterros sanitários*

Segundo Yesiller et al. (2003), observa-se que variações sazonais de temperatura afetam as temperaturas de resíduos em profundidades de até 8 m. As temperaturas variaram entre 35 a 50 °C para os resíduos com tempo de disposição de 9 anos de (célula L), 35 a 56 °C para resíduos de 6 a 7 anos (célula B), 33 a 60 °C para resíduos de 2 a 3 anos (célula J). O gradiente térmico médio entre 8 e 17 m de profundidade (regiões que não são afetadas significativamente pelas variações sazonais) na célula B foi de 2,9 °C/m. O gradiente térmico médio entre 3 e 20 m de profundidade na célula L é 1,5 °C/m. O gradiente térmico médio entre 12 e 28 m de profundidade na célula J é de 0,4 °C/m. Os resíduos de idade média (célula B) são os que demonstram maior gradiente, o que pode indicar significativa atividade biológica nos resíduos. A Figura 9 representa a variação da temperatura com a profundidade em três diferentes células, sendo cada uma com idades diferentes de resíduo.

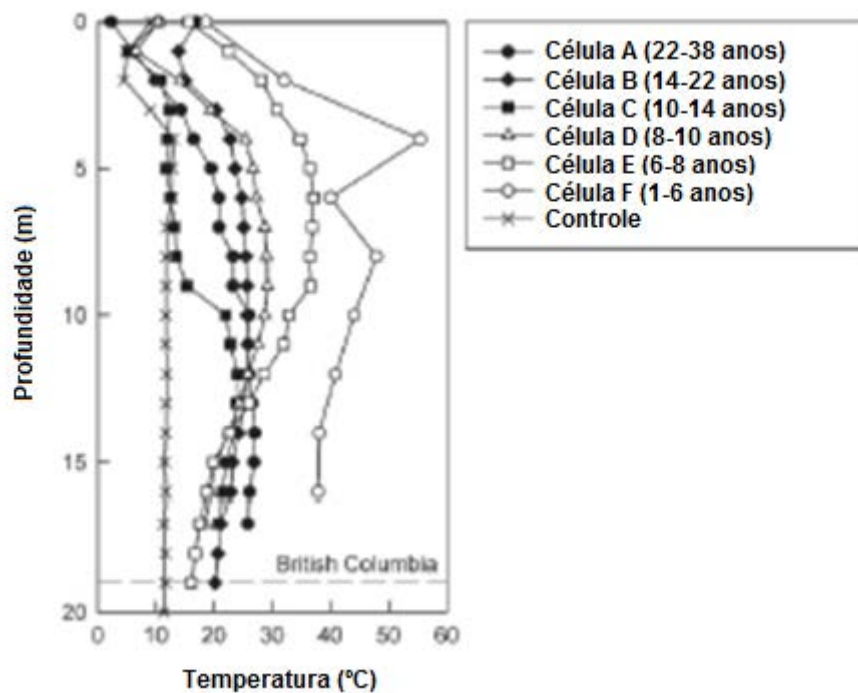


**Figura 9** Variação da temperatura com a profundidade em diversas células com diferentes idades de resíduo

Fonte: Yesiller et al. (2003)

Segundo Yesiller et al. (2005), as temperaturas máximas foram relatadas para resíduos que variaram menos de 1 ano até 8 a 10 anos de idade. Temperaturas de

resíduos começaram a diminuir cerca de 10 anos após a disposição, como mostra a Figura 10.



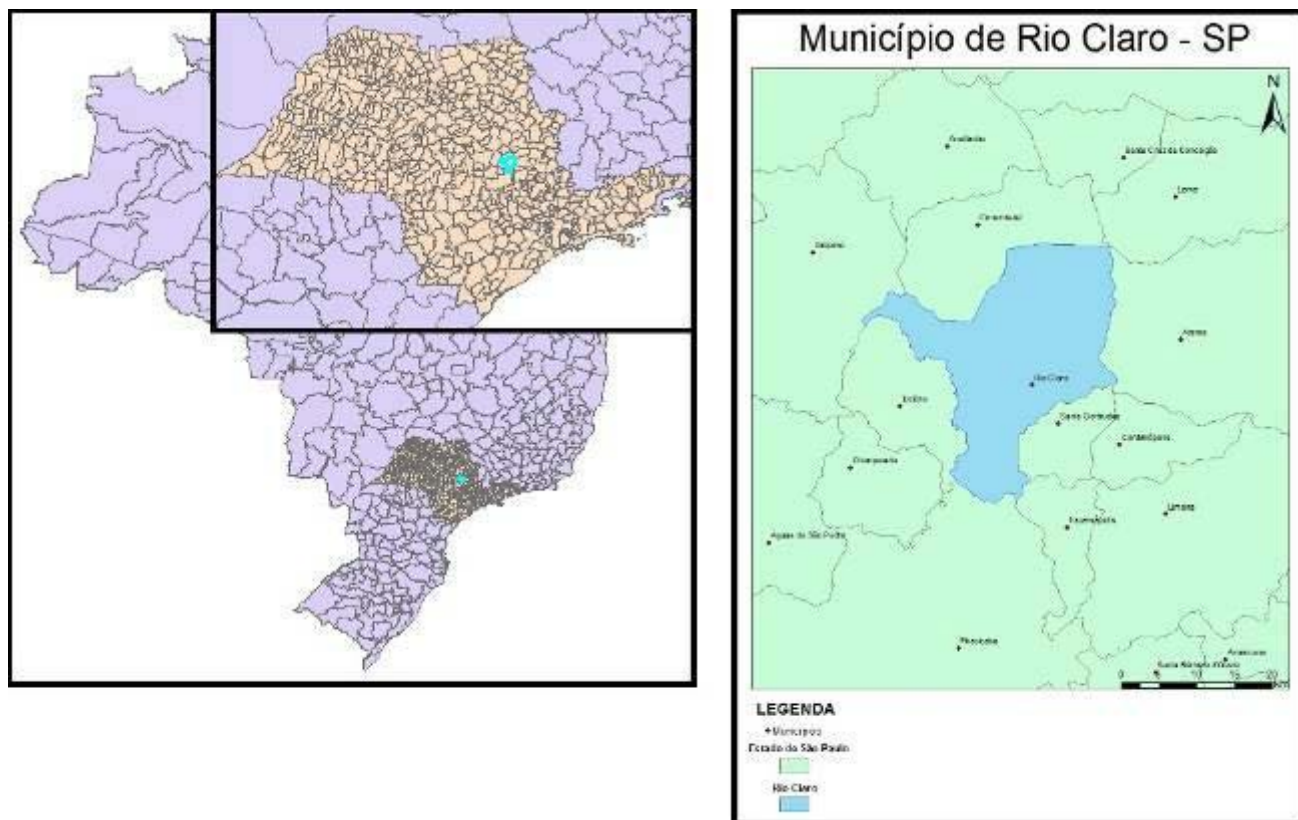
**Figura 10** Variação da temperatura com a profundidade

Fonte: Hanson et al. (2010)

### 3.5 Caracterização da área de estudo

#### 3.5.1 Rio Claro

O município de Rio Claro - SP encontra-se na porção centro-leste do Estado de São Paulo, a 173 km a noroeste da capital, zona 23 com longitude de 47° 33' 39" W e latitude de 22° 24' 39" S. A Figura 11 mostra a localização do município no mapa do Brasil e no mapa do Estado de São Paulo.



**Figura 11** Localização do município de Rio Claro - SP

**Fonte:** Autor (Software ESRI ArcMap 9.3, 2012).

O município pertence à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 5, referente às bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ).

O clima da região de Rio Claro - SP pode ser considerado tropical com duas estações definidas - Cwa na classificação de Koeppen, ou seja, w: seca no inverno, a: mês mais quente com temperatura superior a 22°C, ou tropical alternadamente seco e úmido, controlado por massas tropicais e equatoriais, que predominam em mais de 50% do ano (MONTEIRO, 1973). As demais características do município estão resumidas na tabela 2.

**Tabela 2** Características do município de Rio Claro – SP

<b>Características do município de Rio Claro - SP</b>	
Área [1]	499 km <sup>2</sup>
População [2]	187.637 hab.
Altitude	613 m
Clima [3]	Tropical de altitude Cwa
Localização geográfica	22° 24' 39" S e 47° 33' 39" W
Temperatura Máxima Média [4]	28,0 °C
Temperatura Mínima Média [5]	15,1 °C
Temperatura Média [6]	18,1 e 20,9 °C
Precipitação anual [7]	1366,8 mm

[1] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). IBGE Cidades

[2] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Estimativa Populacional 2011

[3] MONTEIRO (1973)

[4] [5] [7] Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI). Clima dos Municípios Paulistas

[6] TROPPEMAIR (1992)

### 3.5.2 Aterro sanitário

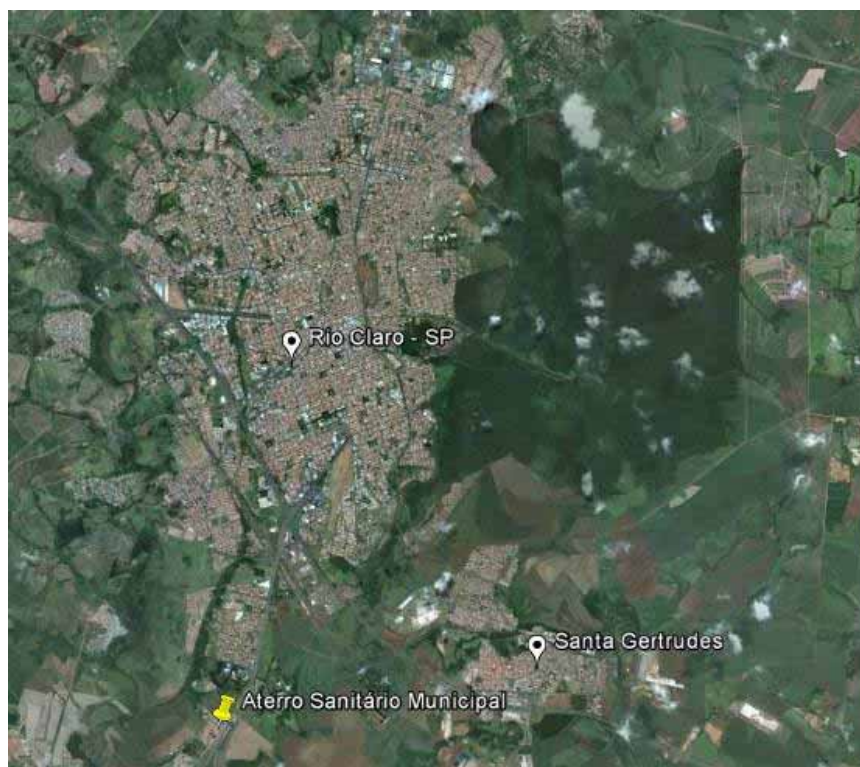
O aterro municipal localiza-se às margens da Rodovia Cornélio Pires (SP-127) a aproximadamente 8,0 km do centro da cidade de Rio Claro e 9,5 km da sede da UNESP de Rio Claro. As coordenadas correspondentes ao aterro são 47° 34' 73" W e 22° 27' 72" S. As figuras 12 e 13 trazem a localização da área do aterro em relação à cidade e a vista aérea, respectivamente.

O aterro sanitário recebe resíduos sólidos domiciliares (classe II A), provenientes da coleta regular no município de Rio Claro.

A coleta dos resíduos domiciliares é diária, seis dias por semana, e abrange praticamente 100% da área urbana do município. A operação do aterro sanitário é diurna, de segunda a sexta-feira, das 8h00 às 17h00 e, aos sábados, das 8h00 às 12h00, encerrando as atividades diárias com a cobertura dos resíduos com uma camada de solo.

O aterro conta com sistema de impermeabilização de base, sistemas de drenagem superficial, sistema de drenagem, captação e acumulação de líquidos percolados e sistema de captação de gases.

Os solos da região são classificados como areno-argiloso e argilo-siltoso com permeabilidade natural da ordem de  $1,25 \times 10^{-5}$  a  $1,93 \times 10^{-7}$  cm/seg. O nível d'água na área do aterro varia entre 5,0 e 14,0 metros. (Relatório Ambiental Preliminar do aterro sanitário de Rio Claro – SP). As demais características do aterro constam da tabela 3.



**Figura 12** Localização do aterro sanitário municipal de Rio Claro - SP

**Fonte:** Google Earth (2012).



**Figura 13** Aterro sanitário municipal de Rio Claro - SP

**Fonte:** Google Earth (2012).

**Tabela 3** Características do aterro sanitário municipal de Rio Claro - SP

<b>Características do aterro sanitário municipal de Rio Claro - SP</b>	
Área total ocupada pelo aterro	141.637,68 m <sup>2</sup>
Área total destinada aos resíduos	90.000 m <sup>2</sup>
Quantidade de resíduos prevista no RAP	100,00 ton./dia
Quantidade de resíduos real recebida	180,21 ton./dia
Ano de inauguração	2001
Previsão de encerramento	2017
Vida útil	16,2 anos

**Fonte:** Relatório Ambiental Preliminar – RAP e Secretaria do Planejamento e do Meio Ambiente de Rio Claro – SP

#### **4. MATERIAL E MÉTODOS**

##### **4.1 Materiais**

Segundo Bouazza et al. (2011), os sensores de temperatura são comumente usados para várias aplicações ambientais e são muito úteis para a detecção remota de temperatura ao longo de grandes períodos de tempo.

Segundo Hanson (2010), as características importantes de um sistema eficaz de medição de temperatura para os aterros são a durabilidade de sensores contra um ambiente corrosivo e agressivo, durabilidade contra agressões mecânicas e movimentos, a capacidade de pré-fabricação e de trânsito, implementação rápida, monitorização viável e capacidade para fornecer medições representativas in situ.

Uma grande variedade de sensores tem sido usados para medições de temperatura em aterros incluindo termopares [por exemplo, Yesiller et al. (2005) e Koerner e Koerner (2006)], termistores [por exemplo, Han et al. (2007)], e vibrando piezômetros fio [eg, Fleming et al. (1999) e Barone et al. (2000)]. Os autores concluíram que termopares Tipo K têm alta resistência a ambientes químicos e são bem adequados para aplicações de aterros sanitários.

Neste estudo optou-se por termoresistências em relação aos termopares, pois possuem maior exatidão, precisão e estabilidade; não possuem limite de distância de operação; e é pouco influenciada por ruídos elétricos. Para a leitura destas, foi escolhido o Indicador Digital Multiponto (IDM) DMY-2015.

Um termômetro digital tipo espeto foi utilizado para os testes preliminares com os equipamentos e está sendo utilizado para a medição da temperatura ambiente, da temperatura da superfície (0,15 metros).

#### *4.1.1 Definição dos sensores de temperatura e dos procedimentos de instalação no aterro sanitário municipal*

Para os dois pontos foram selecionados uma gama de sensores:

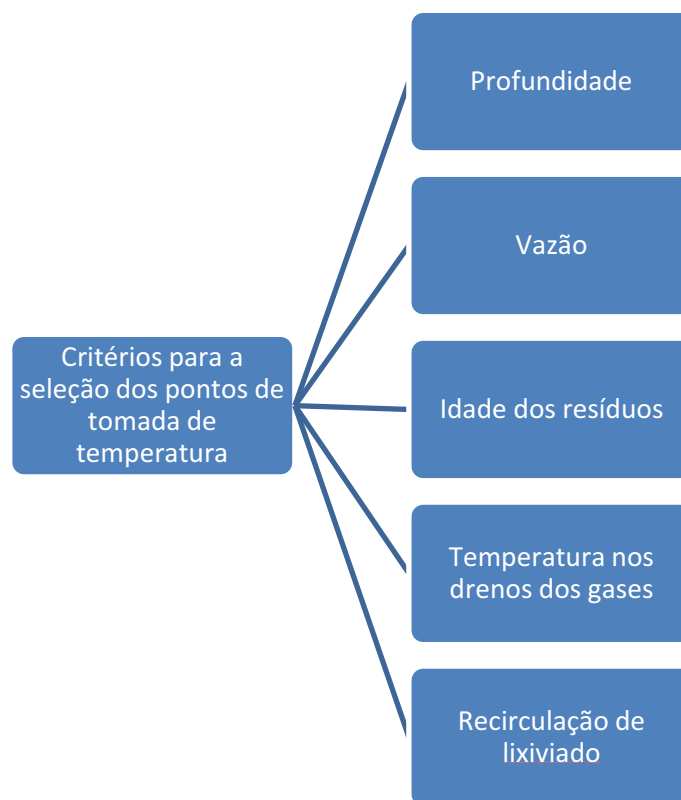
- Controle: 3 sensores: 1,0 metro/3,0 metros/5,0 metros - incluindo a medição da temperatura na superfície (0,15 metros) com um termômetro tipo espeto;
- P1: 5 sensores: 1,0 metro/3,0 metros/5,0 metros/6,5 metros/8,5 metros - incluindo a medição da temperatura na superfície (0,15 metros) com um termômetro tipo espeto.

Segundo Hanson (2010), a configuração dos sensores ou o método de medição pode afetar a determinação de temperaturas em um aterro. A colocação de sensores em tubo rígido (que não tenha sido preenchido com o solo ou material semelhante) cria vias de circulação de gás ou de líquido próximo dos sensores. Isto pode provocar uma transferência de calor por convecção ao longo do comprimento do tubo, resultando em medições não representativas. Movimento de fluidos dentro do tubo pode também alterar as condições de decomposição e degradação próxima dos sensores.

## **4.2 Métodos**

### *4.2.1 Seleção da localização dos pontos e suas profundidades*

A seleção dos pontos de perfuração do solo e onde, posteriormente, ocorreu a instalação das termoresistências para as medições de temperatura, baseou-se nos seguintes aspectos: profundidade, vazão, idade dos resíduos, temperatura dos gases nos drenos e áreas com e sem recirculação de lixiviado. A Figura 14 exemplifica os procedimentos adotados.

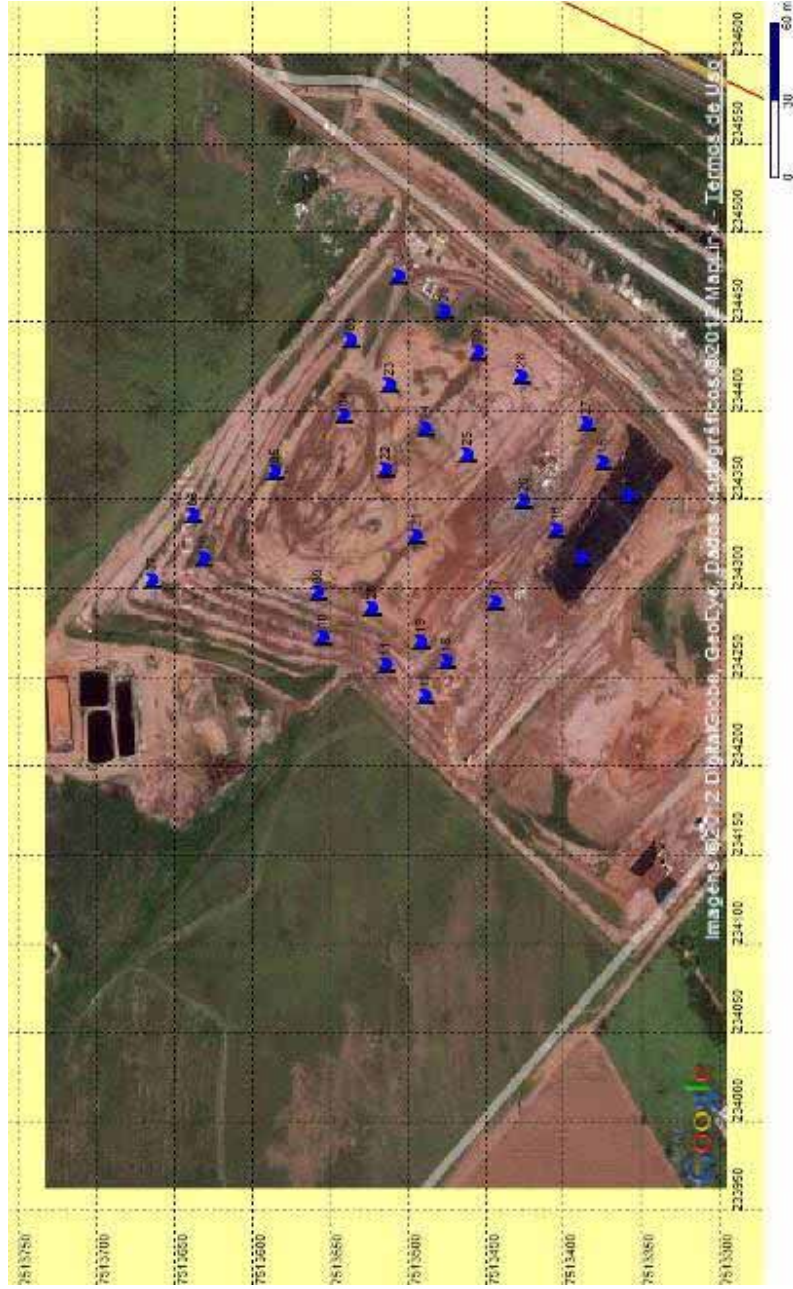


**Figura 14** Seleção dos pontos de tomada de temperatura

**Fonte:** Autor

O chamado ponto “Controle”, foi escolhido visando um local em que não existiu, existe ou existirá a disposição de resíduos, a fim de verificar a variação da temperatura do solo, para posterior comparação desta com a variação da temperatura na camada de resíduos. Esse ponto está localizado ao lado da portaria do aterro sanitário municipal, como mostra a Figura 15.

Primeiramente, todos os drenos presentes no aterro sanitário municipal de Rio Claro – SP foram identificados com um GPS, e marcados com números de 1 a 29, como mostra a Figura 15, abaixo.



**Figura 15** Localização dos drenos do aterro sanitário municipal de Rio Claro - SP

**Fonte:** Autor

Foram realizadas medições geofísicas visando descobrir as profundidades da camada de resíduos em quatro pontos do aterro sanitário. Além disso, estas medições foram importantes a fim de não perfurar a membrana de PEAD (polietileno de alta densidade) presente na base do aterro. A perfuração desta poderia causar a contaminação do solo e também das águas subterrâneas. O método utilizado foi o da resistividade. A escolha dos pontos a serem submetidos às medições geofísicas baseou-se na altura da massa de resíduos nos diversos patamares do aterro sanitário. Após as medições geofísicas, foi analisada a variação da resistividade (ohm.m), assim pode-se determinar a altura aproximada da massa de resíduos.

A vazão de biogás nos drenos está diretamente ligada à degradação da matéria orgânica: quanto maior a vazão, maior a degradação que está ocorrendo naquele local e assim, é esperado que a variação de temperatura seja diretamente proporcional à vazão.

- Vazões altas: pequeno tempo de disposição ('novos' ou 'semi-novos');
- Vazões baixas: grande tempo de disposição ('velhos').

As velocidades de saída dos gases nos drenos foram medidas utilizando-se um anemômetro digital juntamente a um adaptador tipo 'chaminé' para tentar anular a interferência da circulação de ar (vento).

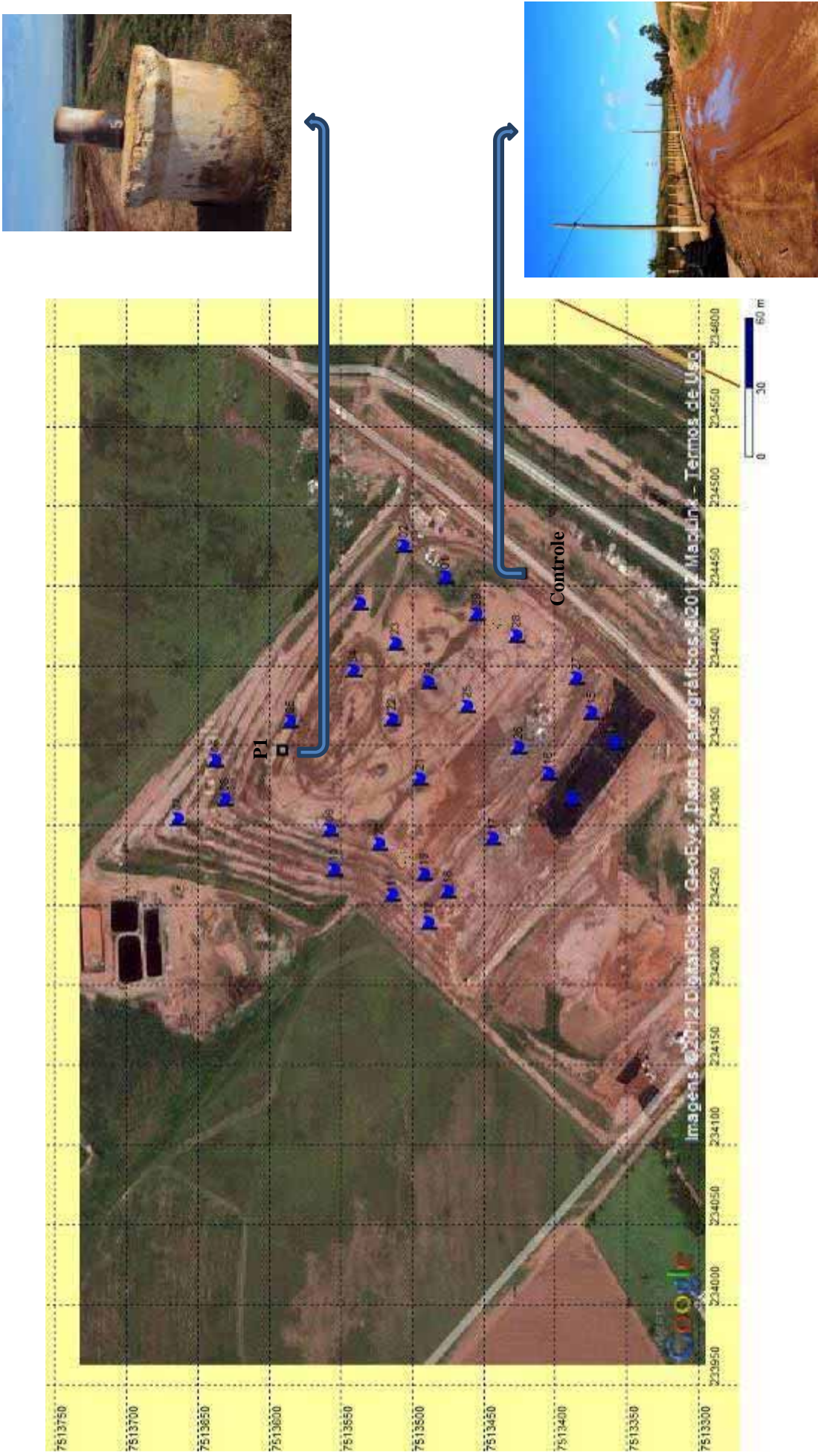
Diversas reuniões foram realizadas com antigos trabalhadores do aterro sanitário e com o atual responsável pelo mesmo para entender como foi feita a disposição dos resíduos desde o início da operação.

Após a análise de todos os aspectos discutidos anteriormente, foram selecionados dois pontos (P1 e Controle) do aterro sanitário municipal de Rio Claro – SP. A Figura 16 mostra a distribuição espacial dos pontos escolhidos e suas respectivas fotos e o quadro 2 trás as características dos mesmos.

**Quadro 2** Características dos pontos escolhidos

	Profundidade (m)	Vazão de drenos próximos (m <sup>3</sup> /s)	Temperatura dos drenos (°C)	Idade dos resíduos	Recirculação de lixiviado
Controle	5	-	-	-	NÃO
P1	8,5	0,0099193 - Dreno 05	30,6	Antigos	SIM

Fonte: Autor



**Figura 16** Distribuição espacial dos pontos escolhidos para a perfuração e instalação das termoresistências

**Fonte:** Autor

#### 4.2.2. Calibração e instalação dos sensores de temperatura

A calibração do equipamento foi feita com um copo de água com gelo. Foi conectado um sensor de temperatura ao Indicador Digital Multiponto comparando-se com um termômetro tipo espeto. O IDM foi mais preciso em 0,6 °C, como mostra a foto 1.

**Foto 1** Calibração do Indicador Digital Multiponto



Fonte: Autor

Ripas de madeira foram adquiridas para a fixação dos sensores nas diversas profundidades, garantindo a profundidade anteriormente definida. Para a fixação destes nas ripas, foram utilizadas diversas fitas adesivas, com o intuito de ter a certeza que as mesmas não iriam desprender-se. A foto 2 mostra o sensor já fixado à ripa de madeira.

**Foto 2** Sensor de 1,0 metro acoplado a ripa de madeira



Fonte: Autor

As perfurações para a instalação dos dois conjuntos de sensores (Controle e P1) foram realizadas a trado mecanizado (Fotos 3 e 4). No ponto 'Controle' a perfuração foi realizada sem apresentar problemas, pois o mesmo apresentava apenas solo. No ponto

‘P1’, algumas dificuldades foram encontradas. Em alguns pontos não foi possível realizar a perfuração, pois alguma barreira (madeira, ferros ou até mesmo rochas) impedia o trado de penetrar o local.

Devido à dificuldade de se penetrar cinco ripas de madeira em um mesmo furo, foi realizada outra perfuração, onde foram implantados os sensores de 3,0 metros e 1,0 metros (Fotos 5 e 6).

**Foto 3** Perfuração do ponto ‘Controle’



**Fonte:** Autor

**Foto 4** Introdução dos sensores no ponto ‘Controle’



**Fonte:** Autor

**Foto 5** Abertura do ponto ‘P1’



**Fonte:** Autor

**Foto 6** Localização do Ponto “P1”



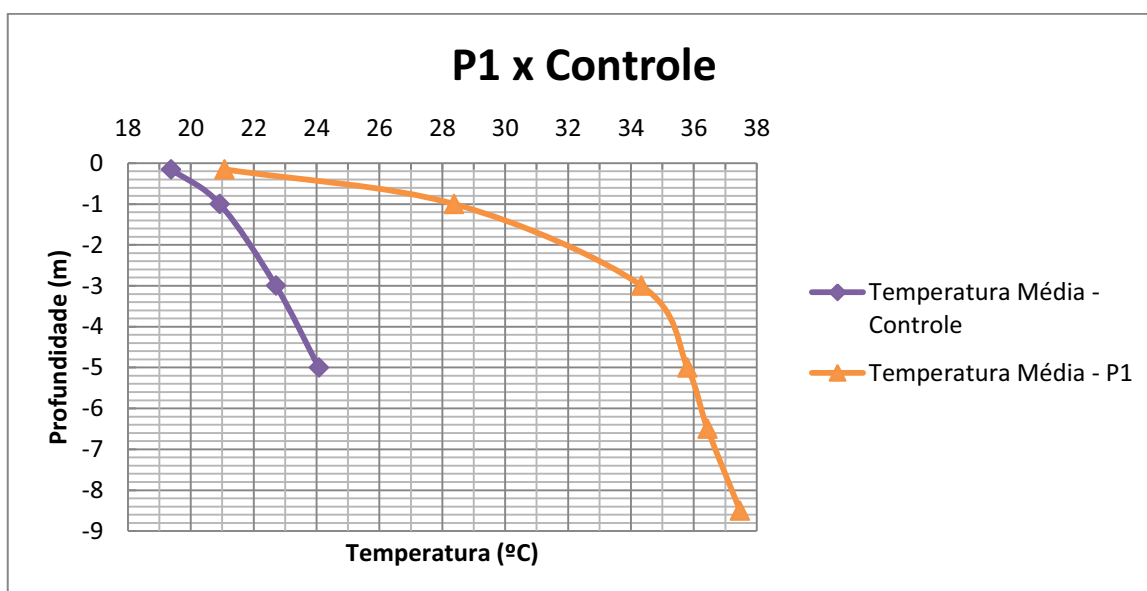
**Fonte:** Autor

As temperaturas verificadas na massa de resíduos logo após a retirada do solo foram tomadas como base para a comparação destas com a temperatura dos sensores pós-perfuração, a fim de estabelecer um parâmetro para a estabilização destas.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados deste trabalho foram obtidos tomando-se como base a primeira medição no dia 14 de junho e como última o dia 12 de setembro de 2012. As medições foram realizadas semanalmente e em três horários distintos: pela manhã, meio-dia e pela tarde.

A Figura 17 apresenta a variação da temperatura para diferentes profundidades, para os pontos “P1” e “Controle”



	0,15	1	3	5	6,5	8,5
■ Temperatura Média - Controle	19,37142857	20,92142857	22,70714286	24,07142857	—	—
■ Temperatura Média - P1	21,07142857	28,37857143	34,33571429	35,8	36,43571429	37,47142857

**Figura 17** Variação da temperatura para diferentes profundidades nos pontos P1 (massa de resíduos) e “controle” (solo).

Fonte: Autor

Com base na Figura 17 pode-se observar o aumento da temperatura em profundidades mais elevadas do aterro, apresentando uma diferença acima de 11,0 °C do ponto “P1” em relação ao ponto “Controle”, na profundidade de 5,0 metros. Tal diferença é atribuída à atividade biológica presente na massa de resíduos. Observa-se também um maior gradiente de temperatura nos primeiros 5,0 metros de profundidade e, em seguida, uma tendência a estabilidade. Importante destacar que, apesar de se tratar

de resíduos com tempo de disposição entre 5 e 10 anos, a atividade biológica é intensa, o que sinaliza para uma disponibilidade de substrato (matéria orgânica), e conseqüentemente produção de biogás.

Segundo o estudo de Yesiller et al. (2011), citado anteriormente na bibliografia, a temperatura adquire uma forma convexa. Neste estudo, o ponto de inflexão da curva da temperatura de acordo com a profundidade não foi encontrado devido às dificuldades de perfuração acima de 8,5 metros, mas através dos dados encontrados, pode-se verificar que a temperatura, mesmo com diferentes condições climáticas e operacionais, também assume uma forma convexa.

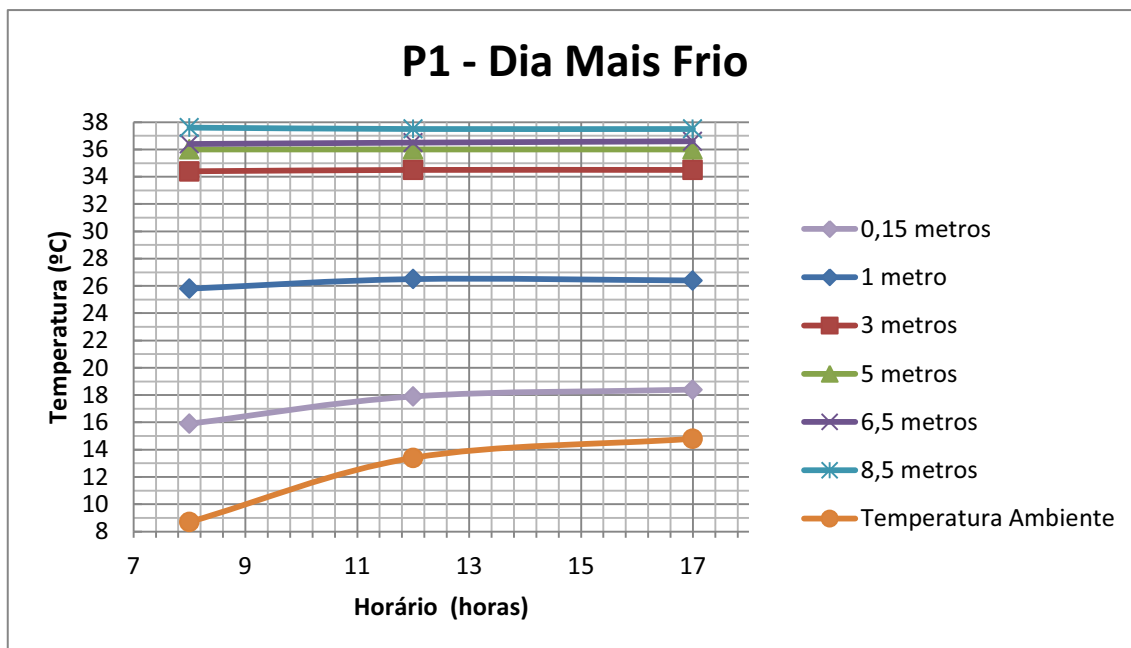
O Quadro 3 exemplifica a exata variação de temperatura em relação a profundidade (°C/m) no ponto “Controle” e “P1”

**Quadro 3.** Variação da temperatura com a profundidade (°C/m)

Profundidade	CONTROLE	P1
1,0m - 5,0m	0,7875 °C/m	1,855 °C/m
5,0m - 8,5m	-	0,4708 °C/m

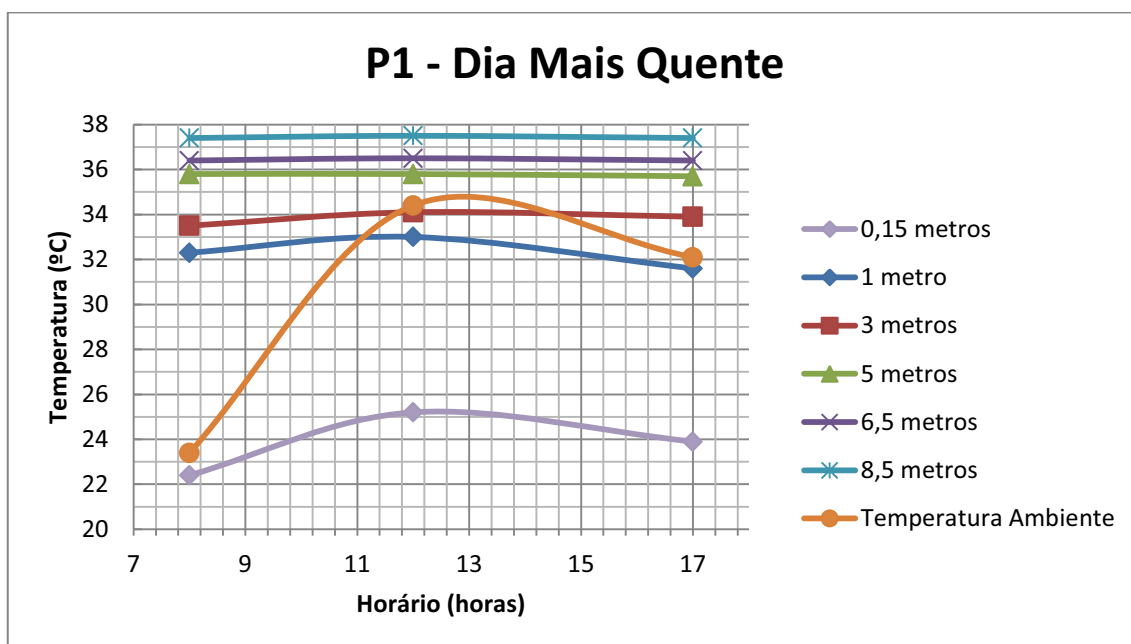
Analisando-se o quadro 3, pode-se verificar que a temperatura no ponto “P1” sofre uma grande variação nas profundidades rasas do aterro (1,855 °C/m). Em profundidades maiores, a variação sofre um significativo decaimento (0,4708 °C/m), tendendo a uma estabilização. O gradiente natural do solo encontrado para a profundidade de 5,0 metros é de 0,7875 °C/m. Com isso, ao analisar a diferença entre o ponto “Controle”, constituído de solo e o ponto “P1”, constituído por solo e resíduos, pode-se encontrar o valor da geração de calor produzida pelos resíduos. Para as condições climáticas e de operação, já definidas anteriormente, este valor é de 1,067 °C/m.

Com a finalidade de avaliar a influencia da temperatura ambiente na massa de resíduos, as Figuras 18 e 19 apresentam, respectivamente, a variação da temperatura diária do dia mais frio (19/07/2012) e a do dia mais quente (05/09/2012). A tabela 4 demonstra os valores das temperaturas nesses dias.



**Figura 18** Variação diária da temperatura ambiente (dia mais frio do período) em relação à temperatura da massa de resíduos, para diferentes profundidades.

Fonte: Autor



**Figura 19** Variação diária da temperatura ambiente (dia mais quente do período) em relação à temperatura da massa de resíduos, para diferentes profundidades.

Fonte: Autor

**Tabela 4** Temperaturas encontradas no dia mais quente e no dia mais frio

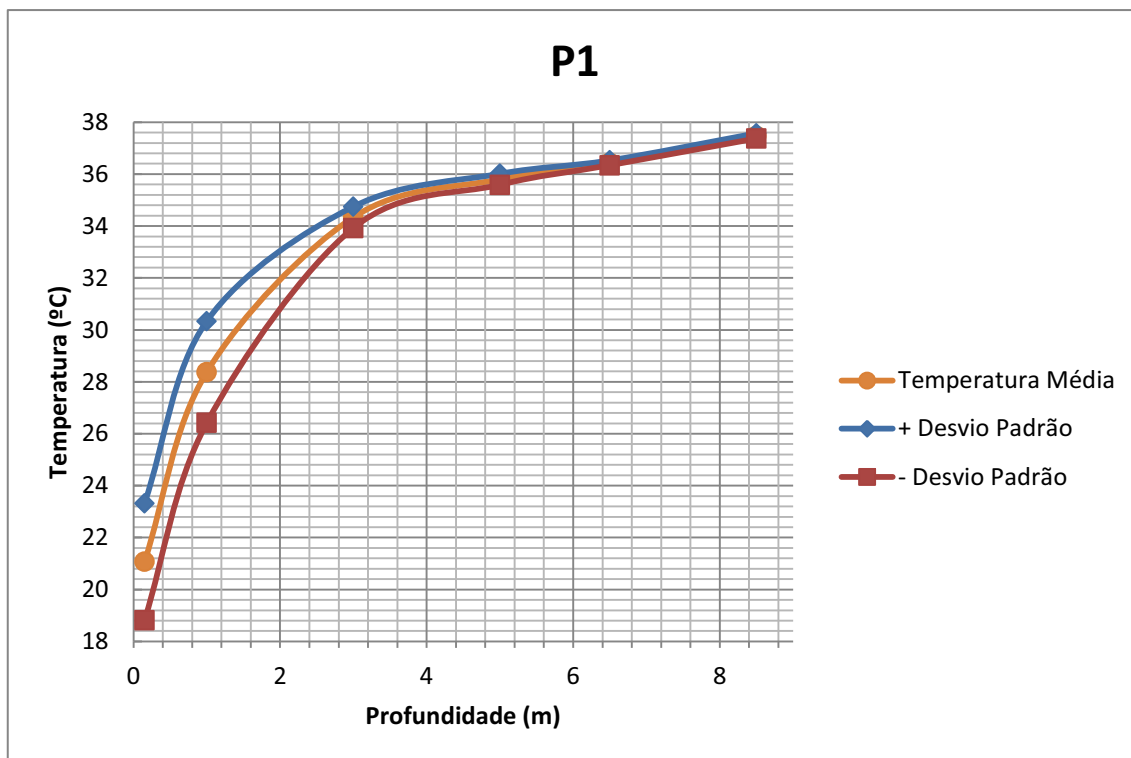
	Horário	Temperatura Ambiente (°C)	Profundidades (m)					
			0,15	1,0	3,0	5,0	6,5	8,5
<b>Dia Mais Quente</b>	<b>Manhã</b>	23,4	22,4 °C	32,3 °C	33,5 °C	35,8 °C	36,4 °C	37,4 °C
	<b>Meio-dia</b>	34,3	25,2 °C	33,0 °C	34,1 °C	35,8 °C	36,5 °C	37,5 °C
	<b>Tarde</b>	32,1	23,9 °C	31,6 °C	33,9 °C	35,7 °C	36,4 °C	37,4 °C
<b>Dia Mais Frio</b>	<b>Manhã</b>	8,7	15,9 °C	25,8 °C	34,4 °C	36,0 °C	36,4 °C	37,6 °C
	<b>Meio-dia</b>	13,4	17,9 °C	26,5 °C	34,5 °C	36,0 °C	36,5 °C	37,5 °C
	<b>Tarde</b>	14,8	18,4 °C	26,4 °C	34,5 °C	36,0 °C	36,6 °C	37,5 °C

**Fonte:** Autor

Com base nos Gráficos das Figuras 18 e 19 pode-se concluir que em profundidades acima de 3,0 metros, para as condições climáticas e operacionais do aterro, a variação da temperatura diária não exerce influência significativa na temperatura dos resíduos. Observa-se que as temperaturas da massa de resíduos nas profundidades de 6,5 e 8,0 metros permanecem constantes, independente da variação da temperatura ambiente. O comportamento constante da temperatura em profundidades mais elevadas pode ser observado na Figura 20, que apresenta a média e o desvio padrão da temperatura para todo o período. Tal fato pode estar associado à característica isolante da massa de resíduos. Ao contrário, nas profundidades de 0,15 e 1,0 metros, as temperaturas acompanham as variações diárias de temperatura.

Observa-se através do estudo de Yesiller (2005) em quatro aterros sanitários e com diferentes condições climáticas, que as profundidades da massa de resíduos onde a temperatura não varia conforme o tempo são diferentes. Como exemplo, pode-se citar o aterro sanitário de British Columbia e Novo Mexico, onde no primeiro basicamente não há variação da temperatura ambiente, com isso as temperaturas nas profundidades estudadas praticamente não variam. No segundo, onde a temperatura ambiente adquire uma forma senoidal, a temperatura é estável a partir dos 8,0 metros. Neste trabalho, a estabilização ocorreu por volta dos 5,0 metros (as condições climáticas assemelham-se ao aterro do Novo Mexico).

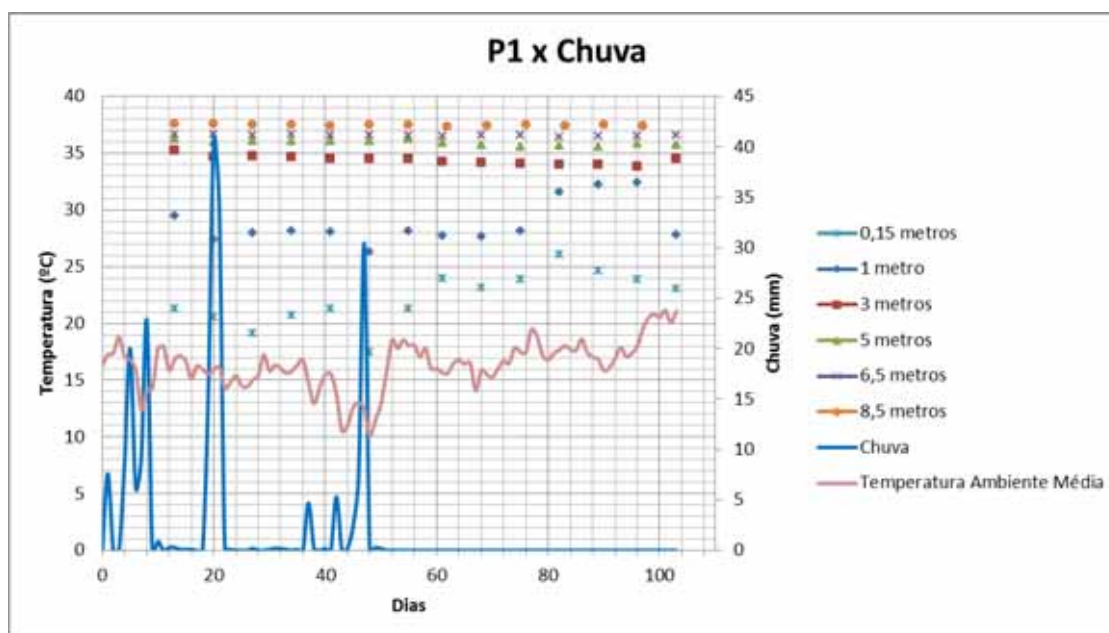
A Figura 21 apresenta a temperatura da massa de resíduos e o índice pluviométrico, sendo o início da contagem da chuva no dia 1º de junho, a 1ª medição no dia 14 de junho e a última medição no dia 12 de setembro de 2012.



	0,15	1	3	5	6,5	8,5
■ Temperatura Média	21,07142857	28,37857143	34,33571429	35,8	36,43571429	37,47142857
◆ + Desvio Padrão	23,32170328	30,33705537	34,7463557	36,01122354	36,52859256	37,5708776
■ - Desvio Padrão	18,82115386	26,42008749	33,92507287	35,58877646	36,34283601	37,37197954

**Figura 20** Média das temperaturas e o desvio padrão para cada profundidade

Fonte: Autor



**Figura 21** Variação da temperatura da massa de resíduos e precipitação pluviométrica.

Fonte: Autor

Por meio da análise da Figura 21, após qualquer precipitação, a temperatura ambiente naturalmente decresce, sendo que esta, a partir de explicações anteriores, influencia as temperaturas da massa de resíduos de profundidades mais próximas a superfície (0,15 e 1,0 metros). Além disso, no período estudado, não foram registradas grandes precipitações e tampouco precipitações duradouras.

Paralelamente a isso, o aterro sanitário municipal de Rio Claro – SP pratica diariamente a recirculação de lixiviado, ou seja, a umidade na massa de resíduos se mantém constante.

A partir das informações citadas, não se pode tirar conclusões específicas a respeito da influência da precipitação na temperatura da massa de resíduos.

## **6. CONCLUSÕES**

- A temperatura da massa de resíduos aumenta com a profundidade.
- Resíduos com tempo de disposição entre 5 e 10 anos apresentam elevadas temperaturas, chegando próximas de 38,0 °C, indicando a presença de atividade biológica.
- A temperatura nas profundidades acima de 5,0 metros é mais estável, e não sofre influência das variações de temperatura ambiente.
- Para o estudo realizado, a precipitação exerceu pouca influencia na temperatura das camadas mais profundas do aterro.

## **7. RECOMENDAÇÕES**

Como sugestões para pesquisas futuras, recomenda-se para uma próxima etapa ou projeto, que diversos sensores de temperatura sejam instalados em locais com diferentes tempos de disposição de resíduos, e que a temperatura seja verificada desde a primeira disposição de resíduos na base do aterro (ponto 0), podendo-se assim, identificar o tempo exato de estabilização da temperatura no local e também o aumento desta com o tempo (aumento da atividade biológica).

## **8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Agência Americana de Proteção Ambiental (United States Environmental Protection Agency) - USEPA.

ALCÂNTARA, P. B. Avaliação da influência da composição de resíduos sólidos urbanos no comportamento de aterros simulados. 2007. 366p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

BANCO MUNDIAL. Manual para a Preparação de Gás de Aterro Sanitário para Projetos de Energia na América Latina e Caribe. Ontário: Conestoga Rovers & Associates, 2003. 248 p. Disponível em: <<http://www.bancomundial.org.ar/lfg/Archivos/Brasil/section1.pdf>>. Acesso em: 4 fev. 2011.

BARBOSA, M.C. Investigação Geoambiental do Depósito de Argila sob o Aterro de resíduos Sólidos Urbanos de Gramacho-RJ. Rio de Janeiro: 1995. COPPE-RJ. Tese de doutorado

BELLO, Paola Pasqualini Gayego. Estudo Da Variação Da Porcentagem E Da Estimativa De Geração De Gás Metano Para O Aterro Sanitário Do Município De Rio Claro – SP. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro, 2010.

BOUAZZA, A. ; NAHLAWI, H. ; AYLWARD, M. In Situ Temperature Monitoring in an Organic-Waste Landfill Cell. Journal of Environmental Engineering © ASCE, EUA, 1286-1289, dez. 2011.

BRASIL. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil – 2009. São Paulo: 210p.

BRASIL. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. NBR 8419. São Paulo: 1984.

BRASIL. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Resíduos sólidos – Classificação. NBR 10.004. São Paulo: 2004.

BRASIL. Lei Federal nº 10.438, de 26 de abril de 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei200210438.pdf>>. Acesso em 09 nov. 2010.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Brasília, DF: [s.n], 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em: 18 dez. 2010.

BRITO FILHO, L. F. de. Estudo de gases em aterros de resíduos sólidos urbanos. 2005. 218 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

CASTRO, M. C. A. A. de. Avaliação de um sistema australiano de lagoas no tratamento conjunto de esgoto sanitário e líquidos percolados. 246 p. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

CEAPLA - Centro de Estudos de Planejamento Ambiental. Dados climatológicos.

Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura – CEPAGRI. Clima dos Municípios Paulistas. Disponível em: <[http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima\\_muni\\_494.html](http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_494.html)>. Acesso em 24 de fev. 2012.

CETESB. Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares. Secretaria do Meio Ambiente/Governo do Estado de São Paulo. 186 p, 2010.

CETESB. Manual do usuário do programa de computador Biogás: geração e uso energético – aterros – versão 1.0. São Paulo: SMA, CETESB, MCT, 2006. 65 p.

COUMOULOS et al (1995). Geotechnical Investigation at the Main Landfill of Athens. Fifth International Landfill Symposium, 50., 1995, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy. Edtec. Informações gerais sobre termoresistências/Pt100. Disponível em: <<http://www.edtec.com.br/termoresistencias.htm>>. Acesso em 23 de fev. 2012.

ENSINAS, A. V. Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas – SP. 143 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

EPA – Environmental Protection Agency. Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide. Washington: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, 2005. 56 p.

Exacta. Princípio e características técnicas para termoresistências PT-100. Disponível em: <<http://www.exacta.ind.br/?p=conteudo&id=197>>. Acesso em 23 de fev. 2012.

FILHO, L. F. B., Estudo de gases em aterros de resíduos sólidos urbanos. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2005.

FRÉSCA, F. R. C. Estudo da geração de resíduos sólidos domiciliares no município de São Carlos, SP, a partir da caracterização física. 2007. 134 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

GERMAN INDUSTRIAL STANDARDS ORGANIZATION – EUROPEAN INTERNATIONAL ELECTRONIC COMMITTEE. DIN-IEC 751/85: Reference platinum precision resistance thermometers. Alemanha, 1985.

HANSON, J. L.; YESILLER, N.; OETTLE, N. K. Spatial and Temporal Temperature Distributions in Municipal Solid Waste Landfills. Journal of Environmental Engineering © ASCE, EUA, 804-814, ago. 2010.

Incoterm. Disponível em: < <http://www.incoterm.com.br/>>. Acesso em 26 fev. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL – IBAM. Mecanismo de desenvolvimento limpo aplicado a resíduos sólidos. Rio de Janeiro: IBAM, 2007. 40 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Estimativa Populacional 2011. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2011/POP2011\\_DOU.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2011/POP2011_DOU.pdf)>. Acesso em 24 de fev. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. IBGE Cidades. Rio Claro – SP. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 26 fev. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Atlas de saneamento. 151 p. (Coordenação de Geografia). Rio de Janeiro: 2004. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas\\_saneamento/pdfs/mappag59.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/pdfs/mappag59.pdf)>. Acesso em: 18 jan. 2011. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Atlas de saneamento. 151 p. (Coordenação de Geografia). Rio de Janeiro: 2004. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas\\_saneamento/pdfs/mappag59.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/pdfs/mappag59.pdf)>. Acesso em: 30 maio 2011. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE Cidades. Rio Claro – SP. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 26 fev. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. 40 p. Rio de Janeiro: 2010. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB\\_2008.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf)>. Acesso em: 28 de maio 2011.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S. A. (IPT) / COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE).

Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado. Publicação IPT 2622, São Paulo: 2000.

IOPE – Instrumentos de precisão: Termoresistências. Disponível em: <[http://www.iope.com.br/3ig1\\_termoresistencias.htm](http://www.iope.com.br/3ig1_termoresistencias.htm)>. Acesso em: 28 abril 2011.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_ipcc\\_fourth\\_assessment\\_report\\_wg1\\_report\\_the\\_physical\\_science\\_basis.htm](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm)>. Acesso em: 23 maio 2011.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. v. 1, 1996. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs4.html>>. Acesso em: 23 jan. 2011.

LEITE, W.C.A. O estudo do comportamento da temperatura, pH e teor de umidade na decomposição anaeróbia de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários. (Dissertação de Mestrado), São Carlos – SP, Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP, 1991.

LOPES, L. Gestão e gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos – Alternativas para pequenos municípios. 2006. 113 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

McBEAN, E.A.; ROVERS, F.A.; FARQUHAR, G.J. Solid Waste Landfill Engineering and Design. Prentice Hall: 2005. p. 521.

MENDES, L. G. G. Proposta de um sistema para aproveitamento energético de um aterro sanitário regional na cidade de Guaratinguetá. 179 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2005.

MONTEIRO, C. A. de F. A Dinâmica Climática e as Chuvas no Estado de São Paulo – estudo geográfico sob forma de atlas. São Paulo: Universidade de São Paulo/ Instituto de Geografia, 1973. 129 p.

MONTEIRO, V.E.D., JUCÁ, J.F.T. Gestão ambiental no processo de recuperação da área do aterro de resíduos sólidos de Muribeca. In: III Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica. Recife, 1999.

MOREIRA, L.S. Sensores de Temperatura – Princípios e Aplicações. Apostila do Curso, 2000.

município de Rio Claro – SP. Ação engenharia. São Paulo – SP.

PARKIN, G. F.; OWEN, W. F. Fundamentals of anaerobic digestion of wastewater sludges. *Journal of Environmental Engineering*, v.112, n.5, p.867–920, 1986.

Paulo.

PERDOMO, C. C.; OLIVEIRA, P. A. V. de; KUNZ, A. Sistemas de tratamento de dejetos suínos: inventário tecnológico. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2003. 83p. (Embrapa Suínos e Aves. Documentos, 85).

POHLAND, F. G.; GOULD, J. P. Co-disposal of municipal refuse and industrial waste sludge in landfills. *Water Science Technology*. v.18, n.12, p.177-192. (1986).

Presys. Instrumentação - Controle de Processos: Indicador Digital Multi-Ponto DMY-2015. Disponível em:

<[http://www.presys.com.br/presys/produtos.php?tppr=1&tppr\\_sub=5&pagina=0&lpp=5](http://www.presys.com.br/presys/produtos.php?tppr=1&tppr_sub=5&pagina=0&lpp=5)>. Acesso em 26 fev. 2012.

PYROMATION INC., Temperature Sensors. Disponível em: <<http://www.pyromation.com>>. Acesso em 25 de maio 2011.

RELATÓRIO AMBIENTAL PRELIMINAR – RAP. Aterro sanitário de Rio Claro – SP.

SILVA, A. C. Tratamento do percolado de aterro sanitário e avaliação da toxicidade do efluente bruto e tratado. 2002. 79 p. Dissertação de mestrado - Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SOUZA, C. F. Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos: obtenção de dados e aplicação no desenvolvimento de um modelo dinâmico de simulação da produção de biogás. 2001. 140 p. Tese (Doutorado em Zootecnia - Produção Animal) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL S. Integrated solid waste management: engineering principles and management issues. USA: McGraw-Hill, 1993. 978 p.

TEXEIRA E.N. (1993). “Efeito Inibidor da Recirculação de Chorume na Decomposição anaeróbia de resíduos Sólidos”. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, USP. Abril, 1993.

TROPPMAIR, H. Atlas da Qualidade Ambiental e de Vida de Rio Claro. 1992.

WEREKO-BROBBY, C. Y.; HAGAN, E. B. Biomass Conversion and Technology. UNESCO energy engineering learning programme, 2000.

YESILLER, N. ; HANSON, J. L.. Analysis of Temperatures at a Municipal Solid Waste Landfill. In: International Waste Management and Landfill Symposium, IX, 2003, Cagliari, Italy. CISA, Environmental Sanitary Engineering Centre, Italy, p. 1-10.

YESILLER, N. ; HANSON, J. L.; LIU, W. L. Heat Generation in Municipal Solid Waste Landfills. Journal of Environmental Engineering © ASCE, EUA, 1330-1344, nov. 2005.

YESILLER, N. ; HANSON, J. L.; OETTLE, N. K. ; LIU, W. L. Thermal Analysis of Cover Systems in Municipal Solid Waste Landfills. Journal of Environmental Engineering © ASCE, EUA, 1655-1664, nov. 2008.

YESILLER, N. ; HANSON, J. L.; YOSHIDA, H. Landfill Temperatures Under Variable Decomposition Conditions. Journal of Environmental Engineering © ASCE, EUA, 2011.

YOSHIDA, H. ; ROWE, R. K. Consideration of landfill liner Temperature. In: International Waste Management and Landfill Symposium, IX, 2003, Cagliari, Italy. CISA, Environmental Sanitary Engineering Centre, Italy, p. 1-9.

## 9. APÊNDICE

PLANILHA DE CAMPO 01 - Temperatura					PLANILHA DE CAMPO 01 - Temperatura					PLANILHA DE CAMPO 01 - Temperatura									
Data	14/06/2012		Temp. amb.	16,3 °C	Data	14/06/2012		Temp. amb.	22,0 °C	Data	14/06/2012		Temp. amb.	24,1 °C					
Horário	7h55		Horário	8h19	Horário	11h25		Horário	11h53	Horário	16h32		Horário	16h53					
MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA			MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA			MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA							
Profundidade	C		Profundidade	P1	Profundidade	C		Profundidade	P1	Profundidade	C		Profundidade	P1					
0,15	19,3	°C	0,15	20,5	°C	0,15	19,8	°C	0,15	21,2	°C	0,15	20,5	°C	0,15	22	°C		
1,0	21,4	°C	1,0	28,9	°C	1,0	21,3	°C	1,0	29	°C	1,0	22	°C	1,0	30,2	°C		
3,0	23,9	°C	3,0	35,1	°C	3,0	24,2	°C	3,0	35,2	°C	3,0	24,9	°C	3,0	35,5	°C		
5,0	24,9	°C	5,0	36	°C	5,0	24,9	°C	5,0	36,2	°C	5,0	25,1	°C	5,0	36,3	°C		
			6,5	36,6	°C				6,5	36,5	°C				6,5	36,7	°C		
			8,5	37,5	°C				8,5	37,6	°C				8,5	37,6	°C		
Condições meteorológicas					Nublado com neblina					Condições meteorológicas					Nublado com pouco sol				
PLANILHA DE CAMPO 02 - Temperatura					PLANILHA DE CAMPO 02 - Temperatura					PLANILHA DE CAMPO 02 - Temperatura									
Data	21/06/2012		Temp. amb.	17,4 °C	Data	21/06/2012		Temp. amb.	18,6 °C	Data	21/06/2012		Temp. amb.	17,3 °C					
Horário	7h54		Horário	7h34	Horário	12h21		Horário	12h39	Horário	17h40		Horário	17h25					
MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA			MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA			MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA							
Profundidade	C		Profundidade	P1	Profundidade	C		Profundidade	P1	Profundidade	C		Profundidade	P1					
0,15	19,5	°C	0,15	20,8	°C	0,15	19,9	°C	0,15	20,5	°C	0,15	19,7	°C	0,15	20,1	°C		
1,0	20,5	°C	1,0	27,3	°C	1,0	20,8	°C	1,0	27,5	°C	1,0	20,5	°C	1,0	27,2	°C		
3,0	23,6	°C	3,0	34,8	°C	3,0	23,5	°C	3,0	34,6	°C	3,0	23,4	°C	3,0	34,6	°C		
5,0	24,6	°C	5,0	35,9	°C	5,0	24,7	°C	5,0	36	°C	5,0	24,7	°C	5,0	35,9	°C		
			6,5	36,5	°C				6,5	36,6	°C				6,5	36,6	°C		
			8,5	37,6	°C				8,5	37,5	°C				8,5	37,6	°C		
Condições meteorológicas					Nublado com vento					Condições meteorológicas					Nublado com pouco sol				
PLANILHA DE CAMPO 03 - Temperatura					PLANILHA DE CAMPO 03 - Temperatura					PLANILHA DE CAMPO 03 - Temperatura									
Data	28/06/2012		Temp. amb.	14,8 °C	Data	28/06/2012		Temp. amb.	27,0 °C	Data	28/06/2012		Temp. amb.	25,6 °C					
Horário	8h53		Horário	8h38	Horário	11h54		Horário	12h37	Horário	17h15		Horário	16h55					
MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA			MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA			MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA							
Profundidade	C		Profundidade	P1	Profundidade	C		Profundidade	P1	Profundidade	C		Profundidade	P1					
0,15	16,5	°C	0,15	17,9	°C	0,15	19,4	°C	0,15	20,2	°C	0,15	18,9	°C	0,15	19,1	°C		
1,0	20,5	°C	1,0	26,6	°C	1,0	20,6	°C	1,0	29,3	°C	1,0	20,3	°C	1,0	27,7	°C		
3,0	23	°C	3,0	34,6	°C	3,0	23	°C	3,0	34,8	°C	3,0	23,3	°C	3,0	34,8	°C		
5,0	24,2	°C	5,0	35,9	°C	5,0	24,4	°C	5,0	36,1	°C	5,0	24,5	°C	5,0	36	°C		
			6,5	36,4	°C				6,5	36,7	°C				6,5	36,5	°C		
			8,5	37,6	°C				8,5	37,4	°C				8,5	37,5	°C		
Condições meteorológicas					Nublado com pouco vento e pouco sol					Condições meteorológicas					Nublado, chuvoso e com vento				
PLANILHA DE CAMPO 04 - Temperatura					PLANILHA DE CAMPO 04 - Temperatura					PLANILHA DE CAMPO 04 - Temperatura									
Data	05/07/2012		Temp. amb.	20,2 °C	Data	05/07/2012		Temp. amb.	27,1 °C	Data	05/07/2012		Temp. amb.	26,4 °C					
Horário	8h43		Horário	8h29	Horário	12h34		Horário	12h13	Horário	17h02		Horário	16h41					
MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA			MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA			MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA							
Profundidade	C		Profundidade	P1	Profundidade	C		Profundidade	P1	Profundidade	C		Profundidade	P1					
0,15	17,3	°C	0,15	19,8	°C	0,15	19,6	°C	0,15	21,4	°C	0,15	18,7	°C	0,15	20,6	°C		
1,0	20,7	°C	1,0	27,7	°C	1,0	21,2	°C	1,0	28,5	°C	1,0	20	°C	1,0	27,9	°C		
3,0	22,4	°C	3,0	34,6	°C	3,0	22,9	°C	3,0	34,8	°C	3,0	22,7	°C	3,0	34,6	°C		
5,0	24	°C	5,0	35,9	°C	5,0	24,3	°C	5,0	36,1	°C	5,0	24,2	°C	5,0	36,1	°C		
			6,5	36,6	°C				6,5	36,6	°C				6,5	36,5	°C		
			8,5	37,4	°C				8,5	37,6	°C				8,5	37,5	°C		
Condições meteorológicas					Sol, sem vento					Condições meteorológicas					Sol, com vento				
PLANILHA DE CAMPO 05 - Temperatura					PLANILHA DE CAMPO 05 - Temperatura					PLANILHA DE CAMPO 05 - Temperatura									
Data	12/07/2012		Temp. amb.	18,1 °C	Data	12/07/2012		Temp. amb.	20,5 °C	Data	12/07/2012		Temp. amb.	19,3 °C					
Horário	8h02		Horário	7h50	Horário	14h30		Horário	14h05	Horário	16h53		Horário	16h23					
MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA			MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA			MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA							
Profundidade	C		Profundidade	P1	Profundidade	C		Profundidade	P1	Profundidade	C		Profundidade	P1					
0,15	19,7	°C	0,15	20,1	°C	0,15	20,2	°C	0,15	22	°C	0,15	19,6	°C	0,15	21,5	°C		
1,0	20,6	°C	1,0	27,8	°C	1,0	20,6	°C	1,0	28,1	°C	1,0	20,5	°C	1,0	28	°C		
3,0	22,6	°C	3,0	34,4	°C	3,0	22,6	°C	3,0	34,6	°C	3,0	22,9	°C	3,0	34,5	°C		
5,0	23,8	°C	5,0	36	°C	5,0	24,1	°C	5,0	36	°C	5,0	24,2	°C	5,0	36,1	°C		
			6,5	36,4	°C				6,5	36,5	°C				6,5	36,5	°C		
			8,5	37,3	°C				8,5	37,4	°C				8,5	37,5	°C		
Condições meteorológicas					Nublado sem vento					Condições meteorológicas					Chuvoso com vento				
PLANILHA DE CAMPO 06 - Temperatura					PLANILHA DE CAMPO 06 - Temperatura					PLANILHA DE CAMPO 06 - Temperatura									
Data	19/07/2012		Temp. amb.	8,7 °C	Data	19/07/2012		Temp. amb.	13,4 °C	Data	19/07/2012		Temp. amb.	14,8 °C					
Horário	8h51		Horário	8h21	Horário	12h43		Horário	12h12	Horário	16h44		Horário	16h12					
MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA			MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA			MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA							
Profundidade	C		Profundidade	P1	Profundidade	C		Profundidade	P1	Profundidade	C		Profundidade	P1					
0,15	14,1	°C	0,15	15,9	°C	0,15	15,8	°C	0,15	17,9	°C	0,15	16,5	°C	0,15	18,4	°C		
1,0	19,8	°C	1,0	25,8	°C	1,0	20,3	°C	1,0	26,5	°C	1,0	20,4	°C	1,0	26,4	°C		
3,0	22,2	°C	3,0	34,4	°C	3,0	23	°C	3,0	34,5	°C	3,0	23,3	°C	3,0	34,5	°C		
5,0	23,7	°C	5,0	36	°C	5,0	24,2	°C	5,0	36	°C	5,0	24	°C	5,0	36	°C		
			6,5	36,4	°C				6,5	36,5	°C				6,5	36,6	°C		
			8,5	37,6	°C				8,5	37,5	°C				8,5	37,5	°C		
Condições meteorológicas					Nublado sem vento					Condições meteorológicas					Nublado com vento				
PLANILHA DE CAMPO 07 - Temperatura					PLANILHA DE CAMPO 07 - Temperatura					PLANILHA DE CAMPO 07 - Temperatura									
Data	26/07/2012		Temp. amb.	15,6 °C	Data	26/07/2012		Temp. amb.	23,1 °C	Data	26/07/2012		Temp. amb.	23,3 °C					
Horário	9h02		Horário	8h34	Horário	13h13		Horário	12h45	Horário	16h51		Horário	16h23					
MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA			MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA			MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA							
Profundidade	C		Profundidade	P1	Profundidade	C		Profundidade	P1	Profundidade	C		Profundidade	P1					
0,15	19,7	°C	0,15	21	°C	0,15	20,4	°C	0,15	21,4	°C	0,15	20,5	°C	0,15	21,3	°C		
1,0	20,3	°C	1,0	27,6	°C	1,0	20,7	°C	1,0	28,5	°C	1,0	20,5	°C	1,0	28	°C		
3,0	23,3	°C	3,0	34,5	°C	3,0	23,8	°C	3,0	34,6	°C	3,0	23,6	°C	3,0	34,5	°C		
5,0	24,3	°C	5,0	36,1	°C	5,0	24,4	°C	5,0	36,2	°C	5,0	24,2	°C	5,0	36,1	°C		
			6,5	36,5	°C				6,5	36,6	°C				6,5	36,5	°C		
			8,5	37,6	°C				8,5	37,5	°C				8,5	37,5	°C		
Condições meteorológicas					Sol, com algumas nuvens e sem vento					Condições meteorológicas					Sol, sem vento				
Condições meteorológicas					Nublado com pouco sol					Condições meteorológicas					Nublado, com pouco vento				

PLANILHA DE CAMPO 08 - Temperatura				PLANILHA DE CAMPO 08 - Temperatura				PLANILHA DE CAMPO 08 - Temperatura			
Data	01/08/2012	Temp. amb.	17,8 °C	Data	01/08/2012	Temp. amb.	26,5 °C	Data	01/08/2012	Temp. amb.	24,5 °C
Horário	8h13	Horário	7h43	Horário	12h19	Horário	12h31	Horário	17h00	Horário	17h20
MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA	
Profundidade	C	Profundidade	P1	Profundidade	C	Profundidade	P1	Profundidade	C	Profundidade	P1
0,15	19,2 °C	0,15	21,4 °C	0,15	21,4 °C	0,15	25,2 °C	0,15	21,8 °C	0,15	25,1 °C
1,0	20,3 °C	1,0	27,7 °C	1,0	20,6 °C	1,0	27,6 °C	1,0	20,6 °C	1,0	27,6 °C
3,0	22,2 °C	3,0	34,2 °C	3,0	21,2 °C	3,0	34,3 °C	3,0	22,1 °C	3,0	34,2 °C
5,0	23,5 °C	5,0	35,8 °C	5,0	24,1 °C	5,0	35,9 °C	5,0	23,2 °C	5,0	35,9 °C
		6,5	36,3 °C			6,5	36,5 °C			6,5	36,4 °C
		8,5	37,4 °C			8,5	37,4 °C			8,5	37,3 °C
Condições meteorológicas Sol, sem nuvens e sem vento				Condições meteorológicas Sol, com nuvens e pouco vento				Condições meteorológicas Sol, com nuvens e pouco vento			
PLANILHA DE CAMPO 09 - Temperatura				PLANILHA DE CAMPO 09 - Temperatura				PLANILHA DE CAMPO 09 - Temperatura			
Data	08/08/2012	Temp. amb.	21,8 °C	Data	08/08/2012	Temp. amb.	27,6 °C	Data	08/08/2012	Temp. amb.	25,3 °C
Horário	8h27	Horário	8h03	Horário	12h43	Horário	12h12	Horário	17h02	Horário	16h43
MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA	
Profundidade	C	Profundidade	P1	Profundidade	C	Profundidade	P1	Profundidade	C	Profundidade	P1
0,15	20,3 °C	0,15	21,7 °C	0,15	20,1 °C	0,15	23,4 °C	0,15	20,8 °C	0,15	24,2 °C
1,0	20,9 °C	1,0	27,3 °C	1,0	20,7 °C	1,0	27,9 °C	1,0	20,5 °C	1,0	27,5 °C
3,0	21,6 °C	3,0	34 °C	3,0	21,1 °C	3,0	34,1 °C	3,0	20,6 °C	3,0	34,3 °C
5,0	23,4 °C	5,0	35,6 °C	5,0	24 °C	5,0	35,7 °C	5,0	23,7 °C	5,0	35,6 °C
		6,5	36,4 °C			6,5	36,5 °C			6,5	36,5 °C
		8,5	37,5 °C			8,5	37,4 °C			8,5	37,4 °C
Condições meteorológicas Sol, com nuvens				Condições meteorológicas Sol, sem nuvens e sem vento				Condições meteorológicas Sol, sem nuvens e sem vento			
PLANILHA DE CAMPO 10 - Temperatura				PLANILHA DE CAMPO 10 - Temperatura				PLANILHA DE CAMPO 10 - Temperatura			
Data	15/08/2012	Temp. amb.	20,9 °C	Data	15/08/2012	Temp. amb.	24,5 °C	Data	15/08/2012	Temp. amb.	24,0 °C
Horário	8h34	Horário	8h10	Horário	11h33	Horário	11h10	Horário	17h06	Horário	16h45
MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA	
Profundidade	C	Profundidade	P1	Profundidade	C	Profundidade	P1	Profundidade	C	Profundidade	P1
0,15	21,4 °C	0,15	23,2 °C	0,15	21,3 °C	0,15	24,3 °C	0,15	20,7 °C	0,15	24 °C
1,0	22 °C	1,0	27,8 °C	1,0	22,1 °C	1,0	28,3 °C	1,0	21,7 °C	1,0	28,1 °C
3,0	22,3 °C	3,0	34,2 °C	3,0	22,4 °C	3,0	34 °C	3,0	22,3 °C	3,0	34,1 °C
5,0	24 °C	5,0	35,5 °C	5,0	24,3 °C	5,0	35,4 °C	5,0	24,1 °C	5,0	35,5 °C
		6,5	36,5 °C			6,5	36,5 °C			6,5	36,6 °C
		8,5	37,5 °C			8,5	37,5 °C			8,5	37,4 °C
Condições meteorológicas Nublado e com vento				Condições meteorológicas Nublado e com vento				Condições meteorológicas Sol com muitas nuvens e vento			
PLANILHA DE CAMPO 11 - Temperatura				PLANILHA DE CAMPO 11 - Temperatura				PLANILHA DE CAMPO 11 - Temperatura			
Data	22/08/2012	Temp. amb.	21,4 °C	Data	22/08/2012	Temp. amb.	28,4 °C	Data	22/08/2012	Temp. amb.	28,0 °C
Horário	8h33	Horário	8h12	Horário	10h40	Horário	10h54	Horário	16h20	Horário	16h02
MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA	
Profundidade	C	Profundidade	P1	Profundidade	C	Profundidade	P1	Profundidade	C	Profundidade	P1
0,15	22,1 °C	0,15	24,4 °C	0,15	23,3 °C	0,15	27,3 °C	0,15	22,5 °C	0,15	26,3 °C
1,0	22,3 °C	1,0	31 °C	1,0	22,8 °C	1,0	31,8 °C	1,0	22,3 °C	1,0	31,6 °C
3,0	22,5 °C	3,0	33,8 °C	3,0	22,9 °C	3,0	34,1 °C	3,0	23 °C	3,0	34 °C
5,0	23,8 °C	5,0	35,6 °C	5,0	24,2 °C	5,0	35,6 °C	5,0	24,3 °C	5,0	35,5 °C
		6,5	36,3 °C			6,5	36,4 °C			6,5	36,4 °C
		8,5	37,4 °C			8,5	37,4 °C			8,5	37,5 °C
Condições meteorológicas Sol, sem nuvens e sem vento				Condições meteorológicas Sol, sem nuvens e sem vento				Condições meteorológicas Sol, sem nuvens e sem vento			
PLANILHA DE CAMPO 12 - Temperatura				PLANILHA DE CAMPO 12 - Temperatura				PLANILHA DE CAMPO 12 - Temperatura			
Data	29/08/2012	Temp. amb.	22,1 °C	Data	29/08/2012	Temp. amb.	27,4 °C	Data	29/08/2012	Temp. amb.	27,3 °C
Horário	8h44	Horário	8h23	Horário	11h48	Horário	11h24	Horário	16h44	Horário	16h23
MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA	
Profundidade	C	Profundidade	P1	Profundidade	C	Profundidade	P1	Profundidade	C	Profundidade	P1
0,15	21,8 °C	0,15	23,7 °C	0,15	22 °C	0,15	25,2 °C	0,15	21,5 °C	0,15	24,7 °C
1,0	21,9 °C	1,0	31,9 °C	1,0	22,1 °C	1,0	32,1 °C	1,0	21,7 °C	1,0	32,6 °C
3,0	22,6 °C	3,0	34,1 °C	3,0	23 °C	3,0	34,2 °C	3,0	22,6 °C	3,0	33,8 °C
5,0	24,3 °C	5,0	35,4 °C	5,0	23,9 °C	5,0	35,6 °C	5,0	24,2 °C	5,0	35,5 °C
		6,5	36,4 °C			6,5	36,5 °C			6,5	36,4 °C
		8,5	37,4 °C			8,5	37,5 °C			8,5	37,6 °C
Condições meteorológicas Sol, com nuvens e com vento				Condições meteorológicas Nublado e com vento				Condições meteorológicas Sol, com nuvens e sem vento			
PLANILHA DE CAMPO 13 - Temperatura				PLANILHA DE CAMPO 13 - Temperatura				PLANILHA DE CAMPO 13 - Temperatura			
Data	05/09/2012	Temp. amb.	23,4 °C	Data	05/09/2012	Temp. amb.	34,3 °C	Data	05/09/2012	Temp. amb.	32,1 °C
Horário	8h41	Horário	8h23	Horário	12h23	Horário	12h00	Horário	16h41	Horário	16h12
MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA	
Profundidade	C	Profundidade	P1	Profundidade	C	Profundidade	P1	Profundidade	C	Profundidade	P1
0,15	20,1 °C	0,15	22,4 °C	0,15	22,2 °C	0,15	25,2 °C	0,15	21,7 °C	0,15	23,9 °C
1,0	20,3 °C	1,0	32,3 °C	1,0	23,5 °C	1,0	33 °C	1,0	22,9 °C	1,0	31,6 °C
3,0	22,8 °C	3,0	33,5 °C	3,0	23,4 °C	3,0	34,1 °C	3,0	23 °C	3,0	33,9 °C
5,0	24,5 °C	5,0	35,8 °C	5,0	24,6 °C	5,0	35,8 °C	5,0	24,5 °C	5,0	35,7 °C
		6,5	36,4 °C			6,5	36,5 °C			6,5	36,4 °C
		8,5	37,4 °C			8,5	37,5 °C			8,5	37,4 °C
Condições meteorológicas Sol, sem nuvens e sem vento				Condições meteorológicas Sol, sem nuvens e sem vento				Condições meteorológicas Sol, sem nuvens e sem vento			
PLANILHA DE CAMPO 14 - Temperatura				PLANILHA DE CAMPO 14 - Temperatura				PLANILHA DE CAMPO 14 - Temperatura			
Data	12/09/2012	Temp. amb.	18,3 °C	Data	12/09/2012	Temp. amb.	32,4 °C	Data	12/09/2012	Temp. amb.	28,9 °C
Horário	8h11	Horário	7h55	Horário	12h18	Horário	12h02	Horário	16h55	Horário	16h24
MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA		MEDIÇÕES DE TEMPERATURA	
Profundidade	C	Profundidade	P1	Profundidade	C	Profundidade	P1	Profundidade	C	Profundidade	P1
0,15	20,2 °C	0,15	22,2 °C	0,15	20,9 °C	0,15	23,4 °C	0,15	21,3 °C	0,15	23,3 °C
1,0	21,4 °C	1,0	27,6 °C	1,0	22 °C	1,0	27,9 °C	1,0	22,1 °C	1,0	27,7 °C
3,0	22,9 °C	3,0	34,5 °C	3,0	23 °C	3,0	34,6 °C	3,0	22,8 °C	3,0	34,5 °C
5,0	24 °C	5,0	35,7 °C	5,0	23,7 °C	5,0	35,7 °C	5,0	23,5 °C	5,0	35,6 °C
		6,5	36,4 °C			6,5	36,5 °C			6,5	36,5 °C
		8,5	37,4 °C			8,5	37,6 °C			8,5	37,6 °C
Condições meteorológicas Sol, sem nuvens e sem vento				Condições meteorológicas Sol, com nuvens e sem vento				Condições meteorológicas Sol, com nuvens e sem vento			

As opiniões, hipóteses e conclusões ou recomendações expressas neste material são de responsabilidade do(s) autor(es) e não necessariamente refletem a visão da FAPESP