

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

ANANDA DA SILVA ANTONIO

AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE ILHAS
DE DECOMPOSIÇÃO CADAVÉRICA NO DESENVOLVIMENTO DE
MODELOS DE PREVISÃO DO INTERVALO PÓS-MORTE EM ÁREA DE
MATA TROPICAL

MANAUS
2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

ANANDA DA SILVA ANTONIO

AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE
ILHAS DE DECOMPOSIÇÃO CADAVÉRICA NO
DESENVOLVIMENTO DE MODELOS DE PREVISÃO DO
INTERVALO PÓS-MORTE EM ÁREA DE MATA TROPICAL

Dissertação apresentada ao Curso de
Mestrado em Química, área de
concentração de Química Ambiental do
Programa de Pós-Graduação em
Química da Universidade Federal do
Amazonas.

Orientador: Profa. Dra. Larissa Silveira Moreira Wiedemann

Co-orientador: Profa. Dra. Karime Rita de Souza Bentes

MANAUS
2016

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

A635a Antonio, Ananda da Silva
Avaliação das características físico-químicas de ilhas de decomposição cadavérica no desenvolvimento de modelos de previsão do intervalo pós-morte em área de mata tropical / Ananda da Silva Antonio. 2016
125 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Larissa Silveira Moreira Wiedemann
Coorientadora: Karime Rita de Souza Bentes
Dissertação (Mestrado em Química - Analítica) - Universidade Federal do Amazonas.

1. decomposição cadavérica. 2. química do solo. 3. intervalo pós-morte. 4. tafonomia forense. I. Wiedemann, Larissa Silveira Moreira II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

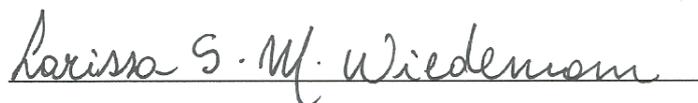
“Avaliação das características físico-químicas de ilhas de decomposição cadavérica no desenvolvimento de modelos de previsão do intervalo pós-morte em área de mata tropical”

Ananda da Silva Antonio

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Química, do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal do Amazonas como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Química.

Aprovado em 08 março de 2016

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof.^a Dr.^a Larissa Silveira Moreira Wiedemann
Universidade Federal do Amazonas
Orientador



Prof. Dr. Paulo Rogério da Costa Couceiro
Membro UFAM



Prof.^a Dr.^a Daniela Koshikene
Membro UFAM

Universidade Federal do Amazonas
Manaus, 08 de março de 2016.

Agradecimentos

Primeiramente a Deus, que nos permite estar aqui e sem o qual eu não teria tantas pessoas para agradecer a conclusão desta etapa, afinal, se tivesse que listar o nome de todos essa seção ficaria muito grande.

A toda minha família pela companhia, tolerância e todo o incentivo e auxílio prestado para minha formação acadêmica.

As professoras Karime Bentes e Larissa Wiedemann pelo apoio, motivação e orientação durante o mestrado e pelas contribuições no meu crescimento profissional desde minha graduação.

Aos meus amigos Flávio Moura e Christiane Leal pelo companheirismo, apoio nos momentos desesperadores e incentivo para começar novos projetos.

As minhas amigas e parceiras no laboratório Andreza Uchôa, Laise Pimentel e Elizabeth Silva, sempre presentes durante minha vida acadêmica me auxiliando em laboratório, dividindo café de todas as tardes e por substituírem minha mão direita.

A todos os alunos e técnicos do NEFA que acompanharam o desenvolvimento deste projeto (são muitos mas lembro de todos vocês), em especial aqueles que estiveram comigo durante o isolamento na Reserva Adolpho Ducke, principalmente a Morgana Melo que acompanhou todos os dias de isolamento e ajudou em todas as coletas.

Aos funcionários e pesquisadores do INPA, que possibilitaram o desenvolvimento do projeto e permitiram nossa estadia de forma segura e confortável, próxima à trilha da onça de olhos verdes. Aos funcionários do Laboratório Temático de Solos e Plantas pelo auxílio prestado e paciência durante a realização das análises deste projeto.

*“Work it harder,
make it better,
do it faster,
makes us stronger.”*

Daft Punk

RESUMO

O intervalo pós-morte (IPM) consiste de um parâmetro fundamental a ser determinado para a elucidação de homicídios. Entretanto, muitas das técnicas utilizadas para determiná-lo são baseadas na forma como a decomposição cadavérica ocorre em uma única situação específica ou são incapazes de estimar com precisão IPM longos, os quais são comuns quando o corpo da vítima é ocultado. Além disso, como o processo de decomposição é fortemente influenciado pelas características ambientais e formas de deposição do cadáver, as técnicas de previsão do IPM desenvolvidas em outras localidades dificilmente podem ser utilizadas no Amazonas, devido às condições climáticas peculiares da região. Assim, este projeto teve por objetivo avaliar as modificações que carcaças em decomposição ocasionam nas características físico-químicas do solo, em região de mata, para o desenvolvimento de um modelo de previsão do IPM longos aplicável a regiões de clima tropical, quente e úmido, em casos onde a vítima tenha sido posicionada acima ou abaixo do solo. O experimento foi realizado em região de mata primária (Reserva Florestal Adolpho Ducke), utilizando 6 espécimes suínos como carcaças análogas a decomposição humana, as quais foram posicionadas acima e abaixo do solo por um período de 67 dias, sendo coletadas amostras de solo abaixo de cada carcaça suína periodicamente a cada 72 horas. Além disso, também foram coletadas amostras de solo a uma distância de 10 metros das carcaças. Todas as amostras coletadas foram analisadas para determinar as seguintes características: pH, umidade, classe granulométrica, teor de amônio e nitrato, concentração de carbono da biomassa microbiana, taxa de respiração basal, concentração de carbono total, nitrogênio total, razão C/N, concentração de macro (Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , PO_4^{2-}) e micronutrientes (Cu^{2+} , Fe^{3+} , Zn^{2+} , Mn^{2+}). Dentre os parâmetros analisados apenas os micronutrientes e umidade não demonstraram variações em suas concentrações durante a decomposição cadavérica que pudessem ser utilizadas no desenvolvimento de um modelo de previsão do IPM. A partir das variações nas concentrações dos demais parâmetros estudados foi possível observar uma diferença no efeito que cada tipo de deposição de carcaças (abaixo e acima do solo) ocasionou na química do solo, indicando a necessidade de dois modelos distintos, uma para cada caso. O tempo de decomposição das carcaças enterradas foi aproximadamente 4 vezes maior que o necessário acima do solo, entretanto, ambas as velocidades observadas são menores que o que consta na literatura. Estes resultados provêm informações iniciais a respeito do comportamento do solo submetido à decomposição cadavérica em região de mata tropical, indicando a possibilidade de utilizar uma caracterização do solo como uma forma alternativa de desenvolver um novo modelo de previsão do IPM, aplicável a um intervalo de tempo de 67 dias.

Palavras chave: decomposição cadavérica; química do solo; intervalo pós-morte.

ABSTRACT

The post mortem interval (PMI) consists in a fundamental parameter to be determined to clarify cases of homicide. However, most of the methods used to estimate it, are based on the way the cadaveric decomposition occurs in only one specific situation or are incapable to estimate long PMI with precision, which are common when the victim's body is hidden. Besides that, as the process of decomposition is strongly influenced by the environmental characteristics and the way of disposing the body, prevision technics of PMI based on other locations hardly can be utilized in Amazonas, due to climatic peculiarities of the region. Therefore, this project had as primary objective evaluate the modifications the decomposed carcass make in the physicochemical properties of the soil around it, in a forest region, for the development of a prevision model for long PMI applicable in regions of tropical climate, hot and wet, in cases where the victim had been positioned above or under the ground. The experiment took place in a primary forest (Adolpho Ducke Forest Reserve), utilizing 6 specimens of swine as carcass for analogy to human decomposition, which were positioned above and below ground for a period of 67 days, being periodically collected soil samples from under each of the swine carcass every 72 hours. Moreover, it was also collected soil samples from a distance of 10 meters from the carcass. Every sample collected was analyzed to determine the following characteristics: pH, moisture, granulometric class, percentage of ammonium and nitrate, concentration of carbon from the microbial biomass, rate of basal respiration, total concentration of carbon, total concentration of nitrogen, C/N ratio, concentration of macro (Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , PO_4^{2-}) and micronutrients (Cu^{2+} , Fe^{3+} , Zn^{2+} , Mn^{2+}). Among the analyzed parameters, only the micronutrients and moisture did not show variations in their concentration during the cadaveric decomposition that could be used in the development of a prevision model of PMI. Starting from the variation in the concentration of the rest of the studied parameters it was possible to observe the difference that each type of decomposing carcass (above and underneath ground) caused in the chemical composition of the soil, indicating the necessity of two distinct models, one for each case. The time of decomposition of the buried carcass was approximately 4 times longer than the carcass above ground, however, in both cases the rate of the decomposition process was slower than what appears in the literature. Those results provide initial information about the soil behavior when submitted to cadaveric decomposition in a tropical forest region, indicating the possibility of utilize soil characterization as an alternate way of development of a new prevision model of PMI, applicable in an interval of 67 days.

Keywords: cadaveric decomposition, soil chemistry, post mortem interval.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
FUNDAMENTAÇÃO TEORICA.....	12
DECOMPOSIÇÃO CADAVÉRICA	12
VELOCIDADE DE DECOMPOSIÇÃO	17
ESTIMATIVA DO INTERVALO PÓS-MORTE	19
ILHA DE DECOMPOSIÇÃO CADAVÉRICA	23
SITUAÇÃO ATUAL DO BRASIL	27
OBJETIVOS	28
GERAL.....	28
ESPECÍFICOS	28
MATERIAIS E MÉTODOS	29
DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	29
OBTENÇÃO DE DADOS METEOROLÓGICOS DA REGIÃO.....	32
PREPARO DAS AMOSTRAS	32
ANÁLISES COM SOLO ÚMIDO.....	32
Umidade	32
Determinação do carbono da biomassa microbiana	33
Determinação da respiração microbiana.....	34
Determinação do nitrogênio mineral	35
ANÁLISES COM TFSA	37
Determinação do nitrogênio e carbono total.....	37
pH em água e KCl	37
Extração de cálcio, magnésio e alumínio trocável com solução de KCl.....	38
Extração de cobre, ferro, zinco, manganês, fósforo, potássio e sódio com solução de duplo ácido.....	40
Análise granulométrica.....	42
TRATAMENTO DOS DADOS	43
RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
CARACTERÍSTICAS DO SÍTIO EXPERIMENTAL.....	45
FASES DE DECOMPOSIÇÃO CADAVÉRICA	48
Suínos expostos	48
Suínos enterrados.....	51
UMIDADE E pH.....	54
AMONIO E NITRATO.....	58
NITROGÊNIO TOTAL	63

CARBONO TOTAL E RAZÃO C/N.....	65
CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA E RESPIRAÇÃO BASAL.....	70
ALUMÍNIO TROCÁVEL.....	75
CÁLCIO, MAGNÉSIO, SÓDIO E POTÁSSIO	77
FÓSFORO DISPONÍVEL.....	83
COBRE, FERRO, ZINCO E MANGANÊS.....	86
DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE PREVISÃO DO IPM.....	88
CONCLUSÃO.....	94
TRABALHOS FUTUROS	96
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
APÊNDICE A – Certificado de aprovação para utilização de animais em pesquisa científica.....	104
APÊNDICE B – Dados climáticos durante o período de coletas.....	105
APÊNDICE C – Características físico-químicas do solo coletado durante o experimento.....	106

INTRODUÇÃO

Segundo os últimos estudos sobre a violência no mundo (UNODC, 2013; WAISELFISZ, 2011), o Brasil foi classificado como o 6º país mais violento, devido principalmente ao seu alto índice de homicídios dolosos (25,2 por 100.000 habitantes) (WAISELFISZ, 2014), sendo que, apenas no ano de 2011 foram registrados 48.832 óbitos por homicídio no país, durante a elaboração do último Mapa da Violência brasileiro (WAISELFISZ, 2014). Além disso, se estima que muitos dos casos de homicídios não são registrados ou concluídos devido a escassez de provas periciais (TOMBERLIN e BENBOW, 2014; WAISELFISZ, 2014).

A investigação criminal de homicídios envolve a determinação de diferentes parâmetros que auxiliam a elucidam dos fatos que levaram a vítima ao óbito (BRUNI e *et al.*, 2012; OLIVEIRA-COSTA, 2011). Dentre estes parâmetros pode-se destacar o intervalo pós-morte (IPM), que corresponde ao intervalo de tempo decorrido entre a ocorrência do óbito e a descoberta do cadáver pela polícia (NIEDEREGGER *et al.*, 2015a; TIBBETT e CARTER, 2008). Apesar do IPM não corresponder ao parâmetro mais importante durante a investigação, este é fundamental na determinação da dinâmica de fatos e de possíveis suspeitos (CHRISTENSEN *et al.*, 2014).

Os métodos mais empregados para estimar o IPM envolvem a determinação da fase de decomposição que a vítima se encontra (NIEDEREGGER *et al.*, 2015b; OLIVEIRA-COSTA, 2011) e/ou a análise dos insetos necrófagos que colonizaram o corpo da vítima (entomologia forense) (BARROS-SOUZA *et al.*, 2012; SOUZA *et al.*, 2014). Entretanto estas técnicas apresentam grandes limitações para estimar IPM longos, quando ocorre a perda de 70 % da massa do cadáver (CHRISTENSEN *et al.*, 2014; DUNPHY *et al.*, 2015; TIBBETT e CARTER, 2008).

Visto que, em muitos casos de homicídio o corpo da vítima é ocultado para evitar a descoberta do crime (HAKKANEN *et al.*, 2007; LUNDRIGAN e CARTER, 2001), casos com IPM longos se tornam freqüentes. Dessa forma, muitos estudos se focaram no desenvolvimento de técnicas aplicáveis na estimativa de IPM longos (COCKLE e BELL, 2015), dentre as quais, destacaram-se as que utilizam as alterações das características biofísico-químicas do solo abaixo de cadáveres para estimar o IPM (AITKENHEAD-PETERSON *et al.*, 2012; CHIMUTSA *et al.*, 2015; DALVA *et al.*, 2015; FINLEY *et al.*, 2015; MEYER *et al.*, 2013).

Apesar de o Brasil possui uma extensa rede de estudos em entomologia forense na estimativa do IPM (OLIVEIRA-COSTA, 2011; PUJOL-LUZ e ARANTES *et al.*, 2008) não há conhecimento no país sobre a aplicação da análise de solo como uma forma mais precisa para estimar intervalos pós-morte longos. Apesar da diversidade de estudos sobre o uso do solo da determinação do IPM, assim como as outras técnicas conhecidas, esta também é fortemente influenciada pelas características ambientais do local, impossibilitando a utilizando dos dados gerados em outros países no Brasil (BARROS-SOUZA *et al.*, 2012; COCKLE e BELL, 2015; OLIVEIRA-COSTA, 2011; SOUZA *et al.*, 2014).

Neste contexto, esta pesquisa tem como proposta avaliar as alterações das características biofísicoquímicas do solo abaixo de carcaças suínas posicionadas acima e abaixo do solo, como forma de criar um modelo de previsão do IPM aplicável a região de mata no Amazonas.

FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

Em investigações de crimes contra a vida, há vários parâmetros que devem ser elucidados para se determinar o responsável pelo delito, como a causa da morte, o *modus operat*, que indica a dinâmica de fatos antes e após o óbito, e o intervalo pós-morte (IPM), que indica o tempo decorrido entre o óbito e a descoberta do cadáver pela polícia (BRUNI *et al.*, 2012; OLIVEIRA-COSTA, 2011).

O intervalo pós-morte, o qual será o foco deste trabalho, possui varias aplicações durante uma investigação podendo ser utilizado para auxiliar indiretamente na identificação da vitima, corroborar o depoimento de testemunhas e acusados, indicar possíveis suspeitos e estimar o dinâmica de fatos ocorridos antes e após o óbito (CHRISTENSEN *et al.*, 2014; OLIVEIRA-COSTA, 2011; TIBBETT e CARTER, 2008).

A determinação do IPM pode ser realizada por uma série de técnicas baseadas nos processos químicos e biológicos que ocorrem durante a decomposição cadavérica, sejam reações que ocorram no próprio tecido em putrefação ou no ambiente que o rodeia (TIBBETT e CARTER, 2008). Entretanto, além do processo de decomposição cadavérica ser extremamente complexo este ocorre de formas diferentes de acordo com o modo como ocorreu o óbito e a forma de deposição deste (CARTER *et al.*, 2007; TIBBETT e CARTER, 2008).

DECOMPOSIÇÃO CADAVERICA

A decomposição cadavérica corresponde ao processo global envolvendo a degradação dos tecidos de animais vivos devido à interrupção permanente das funções biológicas destes (CHRISTENSEN *et al.*, 2014). Um organismo vivo mantém suas funções biológicas ativas devido a uma série de reações químicas altamente ordenadas e

dinâmicas, entretanto, quando ocorre o óbito, esta ordenação é comprometida pela ausência de oxigênio no interior do organismo, levando ao início dos processos degenerativos que também são extremamente dinâmicos com as condições internas e externas do corpo (HAGLUND e SORG, 1996).

O início do processo de decomposição cadavérica se deve a interrupção no bombeamento de sangue e da respiração, os quais são responsáveis pelo transporte de oxigênio pelo corpo (CHRISTENSEN *et al.*, 2014). A ausência de oxigênio nas células impossibilita a fosforilação oxidativa de nutrientes para a produção de trifosfato de adenosina (ATP), utilizada na geração de energia metabólica. Além disso, com a interrupção da corrente sanguínea os sistemas tamponantes presentes no sangue se tornam ineficazes ocasionando a acidificação do plasma intracelular (HAGLUND e SORG, 1996).

Neste ambiente anaeróbico e ácido, a fosforilação oxidativa é completamente interrompida e se inicia a fermentação anaeróbia do ácido pirúvico a ácido láctico e a oxidação das cadeias de ácidos graxos que constituem as membranas celulares, causando assim a morte celular e a ativação de enzimas responsáveis pela degradação de fosfolípidios, carboidratos, proteínas e lipídeos (HAGLUND e SORG, 1996; NELSON e COX, 2002) iniciando a autólise celular. Todos esses processos que iniciam a autólise celular são característicos da primeira fase de decomposição cadavérica, conhecida como fase fresca.

A fase fresca pode durar até 8 horas, sendo caracterizada externamente pelo resfriamento do cadáver em uma velocidade média de 1°C por hora, dependendo da diferença de temperatura entre o cadáver e o ambiente (CHRISTENSEN *et al.*, 2014; TIBBETT e CARTER, 2008). Durante esta fase, o estabelecimento de um ambiente

anaeróbico no organismo causa a proliferação de microorganismos anaeróbicos, presentes no sistema digestivo e respiratório, os quais iram utilizar como substrato para seus processos metabólicos os produtos gerados durante a autólise celular e as demais proteínas, carboidratos e lipídeos presentes no organismo (HAGLUND e SORG, 1996).

O metabolismo destes microorganismos causa uma intensa formação de gases metano, hidrogênio e sulfeto de hidrogênio, e dos ácidos láctico, acético, acetoacético e propanóico. Dentre estes produtos, a formação do sulfeto de hidrogênio (H₂S) a partir da descarboxilação de aminoácidos sulfurados (como a cisteína), conforme mostra a Figura 1, se destaca por conferir ao cadáver uma coloração verde escura devido a precipitação do H₂S com os átomos de ferro presentes na hemoglobina (HAGLUND e SORG, 1996).

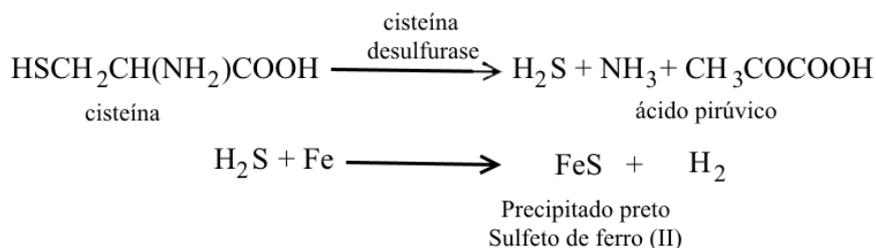


Figura 1. Descarboxilação da cisteína e formação do sulfeto de ferro (II)

A formação do sulfeto de ferro (II) ocasiona uma mudança de coloração no cadáver, nas regiões onde o sangue está concentrado, sendo uma das características da segunda fase de decomposição conhecida como enfisematose (TIBBETT e CARTER, 2008). A principal característica desta fase é o inchaço do cadáver devido ao acúmulo dos gases produzidos pelo metabolismo dos microorganismos, por isso, esta fase irá durar apenas enquanto a pele não romper com o aumento da pressão interna, o que pode durar até 48 horas (CHRISTENSEN *et al.*, 2014; OLIVEIRA-COSTA, 2011).

Após a fase enfisematose, se inicia a fase coliquativa que é caracterizada pelo extravasamento do fluido constituído dos compostos orgânicos gerados pelos

microorganismos e pela autólise celular (CHRISTENSEN *et al.*, 2014). Este fluido, denominado como necrochorume, é o principal meio pelo qual um cadáver em decomposição se torna capaz de alterar a química do ambiente que o rodeia (CARTER *et al.*, 2007; TIBBETT e CARTER, 2008).

Durante a fase coliquativa ocorre uma intensa colonização do cadáver por insetos necrófagos, que são atraídos para este pelos odores cadavéricos oriundos principalmente da presença dos compostos orgânicos cadaverina (1,5 pentanodiamina) e putrescina (1,4 butanodiamina) no necrochorume (OLIVEIRA-COSTA, 2011; TIBBETT e CARTER, 2008), os quais são produzidos pela descarboxilação da lisina e da ornitina (Figura 2).

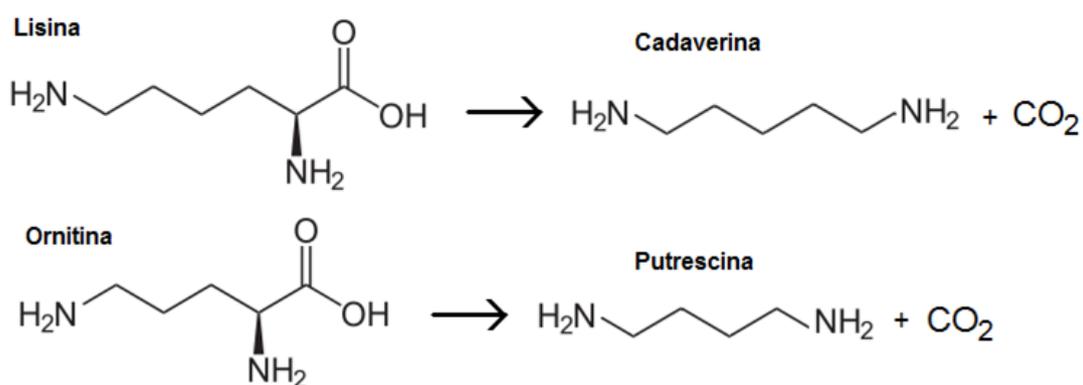


Figura 2. Formação da cadaverina e putrescina.

Apesar da presença dos insetos necrófagos ser mais evidente na fase coliquativa, vale ressaltar que estes podem ser encontrados no cadáver a partir de 30 segundos após o óbito atraídos por outros compostos voláteis, como o ácido sulfídrico (OLIVEIRA-COSTA, 2011).

Após a perda de 70 % da massa do cadáver se considera o fim da fase coliquativa e o início do estágio de esqueletização e posteriormente a fase de resto,

quando há presença apenas dos tecidos resistentes como ossos, unhas e pêlos (CHRISTENSEN *et al.*, 2014).

De forma geral, todos os mamíferos se decompõem através destas 5 fases de decomposição (Figura 3) discutidas, com poucas exceções de acordo com as condições ambientais ao qual o cadáver é submetido (HAGLUND e SORG, 1996; TIBBETT e CARTER, 2008). Apesar destas 5 fases sempre ocorrerem, o tempo que cada uma demora varia de acordo com questões inerentes a forma como o indivíduo foi levado a óbito e como o corpo deste foi depositado (CHRISTENSEN *et al.*, 2014).



Figura 3. Fases de decomposição cadavérica: (a) fase fresca (b) fase enfisematose (c) fase coliquativa (d) fase de esqueletização (e) fase de restos.

A consequência disto é que as técnicas de determinação do IPM devem ser capazes de compreender e se adaptarem as modificações na velocidade de decomposição, tornando necessário um estudo extensivo destas técnicas em diferentes condições climáticas e formas de óbito (COCKLE e BELL, 2015; TOMBERLIN e BENBOW, 2014).

VELOCIDADE DE DECOMPOSIÇÃO

A velocidade de decomposição está intimamente ligada a uma série de fatores como as condições ambientais do local onde o cadáver foi abandonado (por exemplo: temperatura e umidade); local e forma como o cadáver é abandonado (abaixo ou acima do solo em região urbana ou de mata); e ingestão de alimentos antes do óbito. Entretanto, a temperatura e umidade são atualmente consideradas os fatores com maior influência na taxa de decomposição (CARTER *et al.*, 2010; CHRISTENSEN *et al.*, 2014; COCKLE e BELL, 2015; SCHMITT, 2006)

As atividades enzimáticas e microbiologias possuem uma estreita faixa de temperatura na qual apresentam uma atividade alta, que ocorre em aproximadamente 37 °C (FINLEY *et al.*, 2015; NELSON e COX, 2002), e por corresponderem aos principais meios de putrefação do tecido, quando a atividade destas é alterada, devido ao efeito da temperatura, a consequência imediata é a modificação da velocidade de decomposição (COCKLE e BELL, 2015; MEYER *et al.*, 2013; TIBBETT e CARTER, 2008).

Em temperaturas abaixo de 20 °C ou acima de 45 °C, a reprodução de microorganismo é inibida e muitas enzimas perdem sua atividade ao sofrer cristalização ou desnaturação, respectivamente, ocasionando uma preservação do cadáver em temperaturas extremas (NELSON e COX, 2002; TIBBETT e CARTER, 2008) uma vez que os processos de decomposição da matéria orgânica envolvem a ação de microorganismos e reações enzimáticas. Assim, em temperaturas extremas ocorre a preservação do tecido pós-morte de forma semelhante ao que ocorre durante a refrigeração ou na mumificação de cadáveres (CHRISTENSEN *et al.*, 2014; COCKLE e BELL, 2015; MEYER *et al.*, 2013; TIBBETT e CARTER, 2008).

Outro fator que afeta o desenvolvimento da microbiota é a umidade do local, pois, o crescimento dos microorganismos é favorecido em ambientes úmidos, o que torna a decomposição nestas condições mais rápida do que em ambientes secos, se fossem comparados na mesma temperatura (CARTER *et al.*, 2010; MEYER *et al.*, 2013; TIBBETT e CARTER, 2008; WILSON *et al.*, 2007). A umidade interna do organismo também afeta o crescimento microbiótico, como já descrito pela literatura (SCHMITT, 2006), corpos que tenha sofrido desidratação antes do óbito decompõem mais devagar devido ao baixo teor de água em seu interior.

A forma como um cadáver é depositado no ambiente também afetará a taxa de decomposição, pois, em uma mesma região pode ocorrer a formação de microclimas se o cadáver for colocado acima do solo, abaixo do solo ou submerso (SCHMITT, 2006; TIBBETT e CARTER, 2008).

As formas de deposição acima e abaixo do solo, as quais foram o foco de estudo deste trabalho, apresentam microclimas diferenciados, no que tangem a temperatura e umidade. Abaixo do solo, a temperatura a qual o cadáver é exposto além de menor sofre poucas variações durante o dia, enquanto que a umidade pode ser mais elevada, devido à classe granulométrica do solo, quando comparado ao clima acima do solo (TIBBETT e CARTER, 2008).

Outra diferença importante, entre estas duas formas de deposição, que afeta a velocidade de putrefação é baixa disponibilidade do cadáver a ação de artrópodes e outros animais necrófagos quando o cadáver esta abaixo do solo. Por conta disso, a velocidade de decomposição de carcaças enterradas pode ser até 8 vezes mais lenta que a decomposição daquela mantidas acima do solo (DEBATTISTA *et al.*, 2014;

HOWARD *et al.*, 2010; MARIANI *et al.*, 2014; MEYER *et al.*, 2013; NIEDEREGGER *et al.*, 2015a; WILSON *et al.*, 2007).

ESTIMATIVA DO INTERVALO PÓS-MORTE

Devido à variabilidade na velocidade de decomposição cadavérica, as técnicas utilizadas para se estimar o IPM são possíveis de ser empregadas apenas em condições ambientais e de deposição nas quais tenham sido realizados estudos sobre suas aplicações (TOMBERLIN e BENBOW, 2014). O estudo de caso realizado por Turner e Wiltshire (1999) de um caso de homicídio onde a vítima foi enterrado após o óbito, durante o inverno, demonstrou a possibilidade de erros na estimativa do IPM pelo uso indevido de um modelo de previsão.

No caso supracitado (Operação Bandsman), quando a polícia encontrou o corpo da vítima foram utilizadas as técnicas de sucessão entomológica, determinação do ciclo de vida da espécie *Tephroclamys rufiventris* e determinação da fase de decomposição cadavérica para estimar um IPM de 6 à 7 semanas, contudo, todas as evidências coletadas pelos investigadores desde o desaparecimento da vítima indicavam um IPM de 17 semanas.

Na Operação Bandsman, não havia conhecimento abrangente sobre o desenvolvimento da espécie encontrada colonizando o cadáver, sendo que a maioria dos dados disponíveis sobre esta se referiam ao seu desenvolvimento no interior de edifícios, como uma praga urbana e não como um inseto necrófago. Além disso, os tempos previstos para cada fase de decomposição se baseavam na velocidade com que esta ocorria acima do solo e durante o verão.

Com isso, os peritos criminais envolvidos no caso, preocupados com a diferença nos valores de IPM obtidos, realizaram um estudo simulando a decomposição

cadavérica nas mesmas condições de deposição e local no qual a vítima foi encontrada, e assim, conseguiram averiguar que as características do solo e as condições climáticas do local causaram a preservação do cadáver e a inacurácia das técnicas aplicadas inicialmente.

A partir de estudos de caso como este, as técnicas de estimativa de IPM tem sido estudadas em diferentes ambientes, condições de deposição e localidades (BHADRA *et al.*, 2014; FERREIRA e CUNHA, 2013; MATUSZEWSKI *et al.*, 2014; MEYER *et al.*, 2013; MOHR e TOMBERLIN, 2014; NIEDEREGGER *et al.*, 2015a; SOUZA *et al.*, 2014), uma vez que, com o conhecimento obtido até hoje ainda não se tornou possível desenvolver um modelo de previsão de IPM universal devido à quantidade de variáveis associadas ao processo de decomposição (COCKLE e BELL, 2015).

As técnicas de determinação do IPM mais empregadas atualmente envolvem o uso da entomologia forense e o conhecimento das fases de decomposição (CHRISTENSEN *et al.*, 2014; SCHMITT, 2006).

A entomologia forense se baseia na análise dos artrópodes associados ao cadáver, no que tange a identificação das espécies presentes, as quais são atraídas por odores característicos de cada fase de decomposição, e determinação do estágio do ciclo de vida destas, uma vez que, estes artrópodes utilizam o cadáver como substrato de alimentação e local de reprodução (BARROS-SOUZA *et al.*, 2012; MARIANI *et al.*, 2014; MISE *et al.*, 2010; TOMBERLIN e BENBOW, 2014).

A estimativa do IPM pela determinação das fases de decomposição cadavérica se baseia em modelos de previsão criados simulando a decomposição humana, pelo uso de espécimes com características fisiológicas similares ao corpo humano

(CHRISTENSEN *et al.*, 2014), em diferentes ambientes e situações com o objetivo de conhecer o tempo de duração de cada fase e as características que podem ser usadas para identificá-las (CHRISTENSEN *et al.*, 2014; FERREIRA e CUNHA, 2013; MATUSZEWSKI *et al.*, 2014; NIEDEREGGER *et al.*, 2015b; WILSON *et al.*, 2007).

Vale ressaltar, que os estudos das técnicas supracitadas é usualmente realizado utilizando espécimes suínos do gênero *Sus scrofa*, com peso entre 15 e 70 kg, como cadáveres análogos ao humano, uma vez que, estes se assemelham a composição humana no que diz respeito a constituição da derme, teor de tecido adiposo, distribuição de órgãos internos e vasos sanguíneos e teores similares de proteínas, queratina e lipídios (Tabelas 1, 2 e 3) (STOKES *et al.*, 2013; SULLIVAN *et al.*, 2001; TIBBETT e CARTER, 2008).

Tabela 1. Concentração média (%) do tecido adiposo após decomposição de três cadáveres humanos e três cadáveres de suínos (STOKES *et al.*, 2013).

Ácido graxo	Humano	Suíno
palmitoléico	2,14	1,44
palmítico	28,3	28,6
oleíco	52,3	41,6
mirístico	1,75	1,01
Linoleico	7,74	5,98
esteárico	6,29	15,1

Tabela 2. Composição química (%) das vísceras de um suíno em diferentes massas corpóreas (SULLIVAN *et al.*, 2001).

	Nascimento	7 kg	25 kg	Massa de mercado (até 110 kg)	
				Obeso	Magro
Água	77	66	69	48	64
Proteína	18	16	16	14	18
Lipídeos	2	15	12	35	15
Cinza	3	3	3	3	3

Tabela 3. Composição química média de suínos *Sus scrofa* (TIBBETT e CARTER, 2008).

	H ₂ O (%)	Razão C/N	N (g kg ⁻¹)	P (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)
<i>Sus scrofa</i>	80	7,7	26	6,5	2,9	10	0,4

Apesar das técnicas citadas anteriormente serem amplamente utilizadas, elas apresentam uma grande limitação com relação a faixa de tempo do IPM no qual a estimativa pode ser considerada precisa (TOMBERLIN e BENBOW, 2014). No caso da entomologia forense, um IPM maior que 7 dias geralmente está associado ao abandono do cadáver pelos insetos, pois, na última fase do ciclo de vida dos artrópodes necrófagos estes se distanciam do cadáver a procura de abrigos para realizar a transição da fase de larva para mosca adulta, o que em muitos casos impossibilita a coleta destes espécimes (MOHR e TOMBERLIN, 2014; OLIVEIRA-COSTA, 2011; TOMBERLIN e BENBOW, 2014).

A determinação das fases de decomposição, também podem se tornar de difícil interpretação a partir da fase coliquativa, quando as alterações no cadáver ocorrem de modo mais compassado, tornando difícil a interpretação do tempo decorrido desde o início desta fase, e das fases de esqueletização e restos (CHRISTENSEN *et al.*, 2014; SCHMITT, 2006).

Do mesmo modo, as técnicas que se baseiam na análise de fluidos ou tecidos do cadáver (BILHEUX *et al.*, 2015; CHRISTENSEN *et al.*, 2014; SWAIS *et al.*, 2015) também são limitadas a presença de amostras biológicas no cadáver, que se tornam escassas conforme a putrefação progride através das últimas 3 fases de decomposição.

Tendo em vista que uma atividade comum realizada em homicídios dolosos é ocultação do cadáver para prevenir que o delito venha a ser descoberto (HAKKANEN *et al.*, 2007; LUNDRIGAN e CARTER, 2001), a ocorrência de IPM longos se tornou comum em casos de homicídios (BENNINGER *et al.*, 2008; TIBBETT e CARTER, 2008) tornando necessário o desenvolvimento de técnicas que possam ser utilizadas de forma precisa em uma faixa ampla de tempo após o óbito (COCKLE e BELL, 2015;

MEYER *et al.*, 2013; TIBBETT e CARTER, 2008; TOMBERLIN e BENBOW, 2014; TURNER e WILTSHIRE, 1999).

Dentre as técnicas de estimativa do IPM desenvolvidas neste contexto, a análise das alterações das características biofísico-químicas do solo causadas por cadáveres em decomposição ganhou destaque, devido a alta individualidade que cada amostra de solo apresenta; a possibilidade do uso de diferentes características simultaneamente; e aos equilíbrios químicos do solo que podem manter as modificações das características biofísico-químicas por até 1 ano (AITKENHEAD-PETERSON *et al.*, 2012; ANDERSON *et al.*, 2013; DALVA *et al.*, 2015; FINLEY *et al.*, 2015; MEYER *et al.*, 2013; YOUNG *et al.*, 2015).

ILHA DE DECOMPOSIÇÃO CADAVERICA

Este tipo de técnica para estimativa do IPM utilizando amostras de solo se baseia no fato que, um cadáver em contato direto com solo ao atingir a fase enfisematose inicia uma transferência de necrochorume para seus arredores através dos orifícios naturais do corpo. Durante a fase coliquativa esta transferência aumenta e o necrochorume e a interação deste com o solo passa a ser maior.

O necrochorume é um fluído com cor variando entre tons de cinza, verde e castanho e constituído em 60% por água, porem mais viscoso e denso ($1,23 \text{ g/cm}^3$) que esta (SILVA e FILHO, 2011). Sua composição pode ser descrita também como 30% de sais minerais e 10% de substancias orgânicas, bactérias e vírus responsáveis pela toxicidade do necrochorume (CAMPOS, 2007; SILVA e FILHO, 2011).

Devido a sua densidade o necrochorume se dissemina pelo solo com velocidades variáveis de acordo com a classe granulométrica do solo e a quantidade de necrochorume emitida pelo cadáver (AITKENHEAD-PETERSON *et al.*, 2012;

CAMPOS, 2007), ressaltando que, a produção de necrochorume é diretamente proporcional a massa do cadáver, sendo que, o corpo de um homem adulto de 70 kg produz de 30 à 40 litros de necrochorume (CAMPOS, 2007; MATUSZEWSKI *et al.*, 2014).

Portanto, o necrochorume corresponde a uma região ao redor do cadáver onde há um grande fluxo de nutrientes, água e compostos orgânicos, com um raio de difusão limitado pela quantidade de necrochorume e estrutura granulométrica do solo (BENNINGER *et al.*, 2008). Esta área afetada pelo necrochorume tem suas características físico-químicas alteradas em um raio de até 2 metros do cadáver e é denominada como ilha de decomposição cadavérica (IDC) (TIBBETT e CARTER, 2008).

A dinâmica que ocorre após a formação da IDC é atualmente pouco compreendida, entretanto, sabe-se que suas características biofísicoquímicas se alteram constantemente durante a decomposição, passando por fases de baixa fertilidade e alta fertilidade, devido à presença simultânea de nutrientes (cálcio, magnésio, alumínio, potássio, fósforo, entre outros) e substâncias patogênicas (cadaverina, putrescina, mercaptano, entre outras) (AITKENHEAD-PETERSON *et al.*, 2012; ANDERSON *et al.*, 2013; BENNINGER *et al.*, 2008; CARTER *et al.*, 2007; VAN BELLE *et al.*, 2009).

Dentre os primeiros estudos sobre a utilização das características da IDC na determinação do IPM podemos destacar o trabalho realizado por Vass e colaboradores (1992), no qual foi possível observar a utilização de diferentes parâmetros, como teor de ácidos graxos e cátions e anions da solução de solo na criação de modelos de previsão de IPM em um intervalo de até 2 anos após o óbito. As pesquisas realizadas deste então constataram que uma carcaça suína, Com aproximadamente 68 kg, pode causar

acrécimos de 300 μg de K^+ , 50 μg de Ca^{2+} , 10 μg de Mg^{2+} e 110 μg de NH_4^- por g de solo, além de emitir os gases N_2O e CO_2 (AITKENHEAD-PETERSON *et al.*, 2012; DALVA *et al.*, 2015; TIBBETT e CARTER, 2008).

Recentemente, a maior parte dos estudos na área tem como foco a análise de formas orgânicas nitrogenadas ou de compostos orgânicos solúveis presentes na IDC (TOMBERLIN e BENBOW, 2014), como relatado no estudo de Van Belle e colaboradores (2009) no qual foi avaliada as alterações que carcaças suínas expostas sobre o solo e enterradas em covas rasas causavam as concentrações de nitrogênio reativo a ninidrina do solo.

Na pesquisa supracitada foram observados que as carcaças expostas apresentaram os maiores níveis de concentração no 10º dia de experimento (87 $\mu\text{g g}^{-1}$ de solo), enquanto que as carcaças enterradas apresentaram o máximo de concentração apenas no segundo mês de experimento (55 $\mu\text{g g}^{-1}$ de solo). Os autores concluíram com os dados monitorados durante a decomposição que este parâmetro poderia ser empregado efetivamente para determinar com precisão IPM de até 2 meses em cadáveres posicionados abaixo do solo e até 3 meses em casos acima do solo.

Analogamente, Meyer e colaboradores (2013) analisaram a variação de nitrogênio total e nitrogênio reativo a ninidrina ocasionado por carcaças suínas enterradas durante o inverno e o verão, estabelecendo que ambos os parâmetros foram emitidos de forma diferenciada durante as duas estações, apresentando teores máximos de concentração de diferente intensidade e emitidos em distintos intervalos de tempo.

Além disso, um estudo realizado na Estação de Ciências Forenses Aplicadas do Sudeste do Texas (TOMBERLIN e BENBOW, 2014), também demonstrou a possibilidade de utilizar as concentrações de nitrato, amônio e carbono orgânico

dissolvido na estimativa do IPM, ao comparar o efeito de cadáveres humanos em putrefação no solo. Diferentes dos demais estudos já realizados, neste o decréscimo das concentrações de nitrato no solo durante as fases de decomposição iniciais também foi utilizado efetivamente na criação do modelo de estimativa do IPM.

O comportamento observado neste estudo para o nitrato se deve aos diferentes equilíbrios químicos que compõem os ciclo biogeoquímicos que ocorrem no solo e realizam a ciclagem dos nutrientes, os quais se modificam de acordo com as alterações efetuadas em velocidades distintas dependendo da mobilidade e reatividade do elemento em questão (LUCHESE *et al.*, 2001; TROEH e THOMPSON, 2007). No caso do nitrato, seu decréscimo durante a decomposição cadaverica se deve ao estabelecimento de um ambiente anaeróbico no solo, capaz de ocasionar sua redução a $N_{2(g)}$ e inibe a reação de nitrificação do amônio à nitrato, impossibilitando a manutenção das concentrações de nitrato no solo (TROEH e THOMPSON, 2007)

Uma característica comum nas ilhas de decomposição cadaverica é a alcalinização e aumento da condutividade do solo (AITKENHEAD-PETERSON *et al.*, 2012; ANDERSON *et al.*, 2013; CARTER *et al.*, 2007; HOPKINS *et al.*, 2000; HOWARD *et al.*, 2010; TOMBERLIN e BENBOW, 2014) devido a presença de altos teores de cátions solúveis em água no necrochorume.

Outros pesquisadores propuseram também a utilização de alterações na comunidade microbiótica do solo como forma de determinar o IPM, uma vez que, as alterações das características químicas do solo propiciam em determinados momentos um crescimento acelerado dos microorganismos anaeróbicos e um aumento nos teores de enzimas presentes no solo. Sendo que estes processos são acompanhados de um decaimento compassado, permitindo que a técnica em questão possa ser utilizada em

IPM longos (FINLEY *et al.*, 2015; HOPKINS *et al.*, 2000; HOWARD *et al.*, 2010; SZELECZ *et al.*, 2014; YOUNG *et al.*, 2015).

SITUAÇÃO ATUAL DO BRASIL

As pesquisas desenvolvidas no Brasil, no que tange a estimativa do IPM, têm como principal foco o uso da entomologia forense (BARROS-SOUZA *et al.*, 2012; MISE *et al.*, 2010; OLIVEIRA-COSTA, 2011; SOUZA *et al.*, 2014; TOMBERLIN e BENBOW, 2014; VAIRO *et al.*, 2015), permitindo inclusive a utilização desta em casos criminais (BRAGA *et al.*, 2015; PUJOL-LUZ e FRANCEZ *et al.*, 2008; SOUZA *et al.*, 2014).

Entretanto, não foram encontradas pesquisas que utilizassem o solo na determinação do IPM no Brasil, o que pode ser considerado uma grande desvantagem, tanto para o desenvolvimento de pesquisas entomológicas quanto para a perícia criminal, uma vez que, além das características químicas da IDC poderem ser utilizadas na determinação do IPM elas também afetam o desenvolvimento dos artrópodes que colonizam o cadáver (TOMBERLIN e BENBOW, 2014).

O Brasil se apresenta como um local promissor para o desenvolvimento de técnicas que auxiliam a perícia criminal, isso devido a seu alto índice de criminalidade, com um registro de 48.832 casos de homicídio em 2010 (TOMBERLIN e BENBOW, 2014; WAISELFISZ, 2014). Com o desenvolvimento de métodos que auxiliem a perícia criminal se espera que ocorra um aumento no número de casos solucionados, e com isto uma inibição na propagação da criminalidade (TOMBERLIN e BENBOW, 2014).

OBJETIVOS

GERAL

Estudar o efeito da decomposição de carcaças suínas posicionadas acima e abaixo do solo nos níveis de carbono orgânico, matéria orgânica, nitrogênio total, amônia, nitrato, macro e micronutrientes, biomassa microbiana e respiração basal do solo abaixo destas, em um período de 30 dias, para o desenvolvimento de modelos de previsão do intervalo pós-morte de cadáveres em área de mata com clima tropical.

ESPECÍFICOS

1. Determinar as características físicas e físico-químicas do solo imediatamente abaixo de carcaças suínas durante todas as fases de decomposição cadavérica;
2. Avaliar as alterações nas concentrações dos parâmetros avaliados e estudar a relação existente entre estes;
3. Fornecer dados que auxiliem no desenvolvimento de um modelo de previsão do IPM baseado na influência da decomposição de uma carcaça enterrada nas características do solo.

MATERIAIS E MÉTODOS

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Vale ressaltar que a utilização de suínos neste projeto foi previamente aprovada, antes da realização do experimento, pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA – UFAM), sob número de protocolo 007/2014-CEUA/UFAM, conforme consta em anexo.

A pesquisa foi realizada em platôs de terra firme com floresta primária, na Reserva Florestal Adolpho Ducke, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, localizada na rodovia estadual AM-010, km-26 Manaus, Amazonas, Brasil, situada nas coordenadas $02^{\circ}55'51''\text{S}$, $59^{\circ}58'59''\text{W}$ e com área de 100 km^2 (Figura 4).

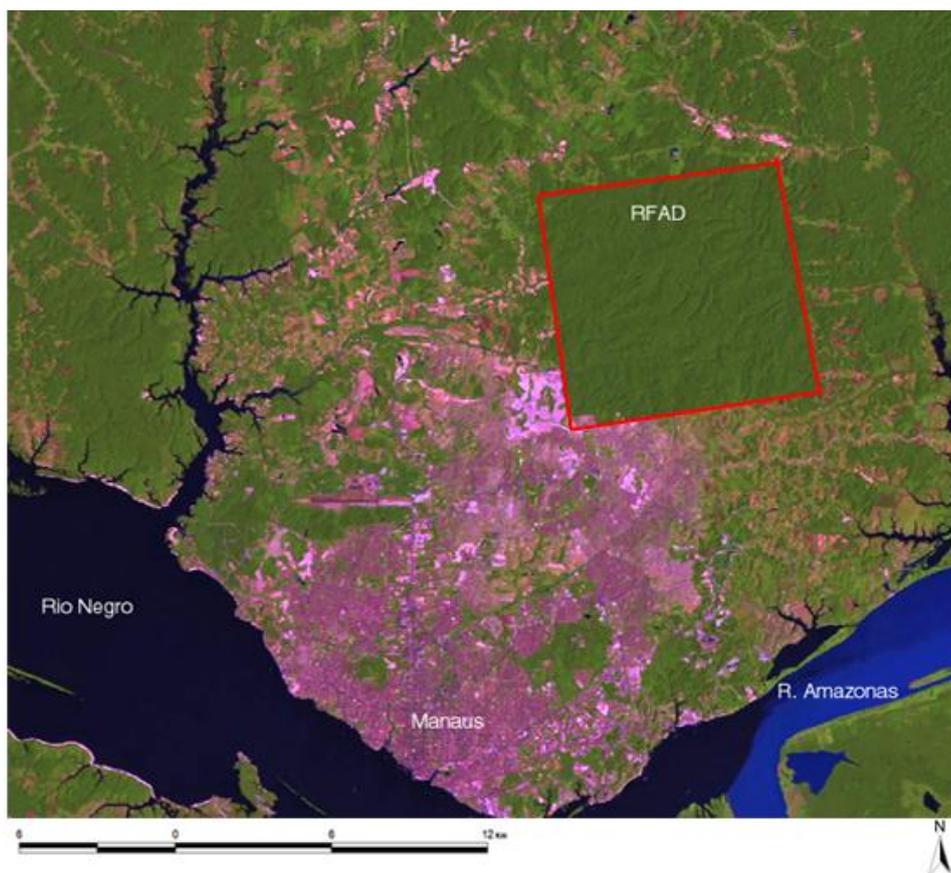


Figura 4. Localização da Reserva Florestal Ducke (delimitada pelo quadrado vermelho).

Para simular a decomposição humana foram utilizados 6 espécimes suínos adultos com massa de 15 kg da espécie *Sus scrofa* Linnaeus abatidos próximo aos locais nos quais estes seriam posicionados. O abate dos espécimes foi realizado por um membro da Polícia Civil do Estado do Amazonas, através de disparado de arma de fogo calibre 28 na região occipital dos suínos.

Imediatamente após o óbito, cada suíno foi posicionado nos locais previamente demarcados, com uma distancia mínima de 10 metros entre cada sítio, sendo que 3 espécimes foram enterrados em covas de 50 cm de profundidade e os demais mantidos acima do solo. Abaixo de cada suíno foi posicionada uma tela de proteção (Figura 5) para permitir o manuseio destes durante a coleta e, além disso, também foi posicionada uma jaula de 1 m² e abertura de 1,5 cm² sobre os suínos mantidos acima do solo, para evitar o ataque de animais de pequeno e médio porte às carcaças.



Figura 5. Detalhes da sobre a forma de deposição das carcaças no solo: (a) tela de proteção posicionada abaixo dos espécimes enterrados, (b) espécime após soterramento, (c) tela de proteção posicionada abaixo dos espécimes expostos e (d) jaula posicionada acima dos espécimes expostos.

A coleta de solo foi realizada imediatamente abaixo das carcaças periodicamente durante 30 dias a cada 3 dias, e após este período, passaram a ser realizadas em intervalos de 12 dias até que a fase de restos fosse identificada em todas as carcaças suínas utilizadas.

Para realizar as coletas as carcaças foram suspensas, com auxílio das telas de proteção, e solo foi coletado utilizando um trado holandês nas profundidades de 0 à 10 cm e 10 à 20 cm abaixo das carcaças, sendo que ao fim da coleta as carcaças foram posicionadas no mesmo local (Figura 6). Durante a coleta das carcaças posicionadas em covas rasas, estas eram desenterradas, sendo mantidas fora das covas por um período máximo de 20 minutos, para realização da coleta, sendo posteriormente foram novamente enterradas na mesma cova.

As amostras foram retiradas de três pontos diferentes localizados abaixo dos suínos para compor uma amostra composta de solo mais representativa, e imediatamente após a coleta foram mantidas sob refrigeração até encaminhamento para o laboratório onde eram preparadas para as análises físico-químicas.

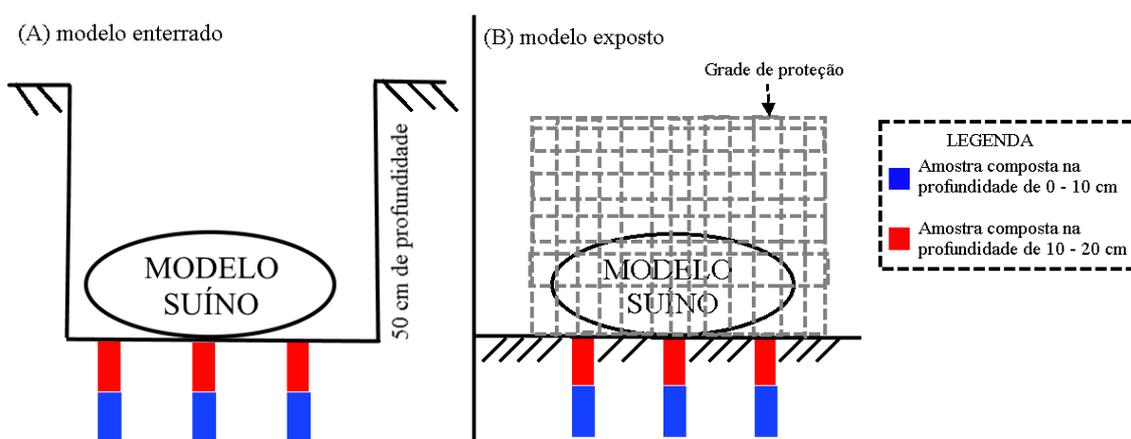


Figura 6. Visão lateral dos espécimes suínos com as profundidades de coleta nos (a) espécimes enterrados e (b) espécimes expostos.

Vale ressaltar que, durante o experimento também foram coletadas amostras de solo a uma distância de 10 metros dos espécimes, para obter um solo controle livre da

influência das carcaças em decomposição na mesma periodicidade das coletas realizadas abaixo dos suínos.

OBTENÇÃO DE DADOS METEOROLÓGICOS DA REGIÃO

A Reserva Floresta Ducke possui em suas instalações uma das estações meteorológicas de monitoramento climático do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a qual realiza medições diárias de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação, sendo estes dados disponibilizados pela Coordenação de Pesquisas em Clima e Recursos Hídricos/CPCR – INPA.

PREPARO DAS AMOSTRAS

Cada amostra de solo foi dividida em duas porções, uma destas foi mantida sobre refrigeração para realização das extrações destinadas a determinação de nitrogênio mineral, carbono da biomassa microbiana, respiração basal e umidade.

A segunda porção foi submetida à secagem ao ar em casa de vegetação. Após secas, as amostras foram destorroadas e trituradas para obtenção de partículas com diâmetro igual ou inferior a 2 mm. Ao fim deste tratamento, o solo é designado como Terra Fina Seca ao Ar (TFSA)

ANÁLISES COM SOLO ÚMIDO

Umidade

A determinação da umidade foi realizada de acordo com o Manual de Métodos de Análise de Solo (2009) no qual 10 g de solo fresco foram acondicionados em uma bandeja metálica de peso conhecido e levados a estufa a 110 °C por 24 horas. Passado este tempo a amostra foi retirada e mantida em um dissecador para atingir temperatura

ambiente para então ser pesada em balança de precisão analítica. Para determinar a umidade usou-se a Equação 1.

$$\text{Umidade Gravimétrica} = \frac{(a-b)}{b} \times 100 \quad (1)$$

Onde, a = massa do solo fresco (g) e b = massa da amostra seca (g).

Determinação do carbono da biomassa microbiana

Este parâmetro foi realizado utilizando a técnica de fumigação-extração (CARDOSO, 2004; JENKINSON, 1976; JENKINSON *et al.*, 2004) no qual cada amostra foi subdividida em 6 subamostras, de 20 g cada, das quais 3 foram submetidas ao processo de fumigação e as demais foram imediatamente extraídas.

A fumigação foi realizada pela adição de 1 mL de uma solução de clorofórmio concentrada no frasco contendo cada subamostra destinada a este tratamento, e após a adição desta solução o recipiente foi fechado e mantido em incubadora tipo BOD, à 26 °C e isento de luminosidade por 24 h. Após este período o frasco foi mantido aberto em capela de exaustão, por 30 min, até que completa evaporação do clorofórmio. O processo de extração das subamostras submetidas à fumigação foi realizado logo após o fim desta, enquanto que as subamostras não-fumigadas foram extraídas imediatamente após chegarem ao laboratório de análise.

A extração foi realizada de forma igual em todas as subamostras, pela adição de 50 mL de solução 0,5 mol L⁻¹ de sulfato de potássio (K₂SO₄), seguido de agitação em mesa agitadora horizontal por 30 min a 220 rpm. Após esta etapa a solução obtida foi filtrada com papel de filtro qualitativo (porosidade de 8µm).

Para determinação do teor de carbono em cada subamostra foram separadas alíquotas de 8 mL de cada extrato separadamente, sendo adicionada a cada alíquota 2

mL de uma solução 0,066 mol L⁻¹ de dicromato de potássio, 10 mL de ácido sulfúrico concentrado (98 % m/V) e 5 mL de ácido orto-fosfórico concentrado (85 % m/V). Após o resfriamento da solução obtida foram acrescentados 70 mL de água deionizada e 4 gotas de difenilamina 1% (m/V) para que então os extratos fossem titulados com uma solução padronizada de sulfato ferroso amoniacal 0,033 mol L⁻¹. O cálculo para determinar o carbono da biomassa microbiana ocorre através das Equações 2 e 3.

$$C \text{ (mg C kg}^{-1} \text{ solo)} = \frac{(Vb - Va) \times M \times 0,003 \times V_1 \times 10^6}{Ps \times V_2} \quad (2)$$

$$\text{BMS-C (mg C microbiano kg}^{-1} \text{ solo)} = (C_F - C_{NF}) \times k_C^{-1} \quad (3)$$

Onde,

- C = carbono extraído do solo;
- Vb (mL) = volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação do branco;
- Va (mL) = volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra;
- M = concentração do sulfato ferroso amoniacal (mol L⁻¹);
- V₁ = volume do extrator utilizado (mL);
- V₂ = volume de extrato da amostra utilizado na titulação (mL);
- 0,003 = miliequivalente do carbono;
- Ps (g) = massa de solo seco.
- BMS-C = carbono da biomassa microbiana do solo;
- C_F = carbono extraído do solo da amostra fumigada;
- C_{NF} = carbono extraído do solo da amostra não fumigada;
- k_c = fator de correção (1,74) para latossolo (BRANDÃO-JUNIOR *et al.*, 2008).

Determinação da respiração microbiana

A metodologia utilizada para determinar este parâmetro foi pela captura de dióxido de carbono em armadilha estática (SILVA *et al.*, 2007) no qual cada amostra de solo foi subdividida em 2 subamostras de 50 g cada, sendo cada uma inserida em um recipiente distinto de polietileno. Acima do solo de cada subamostra foi posicionado um béquer contendo 10 mL de uma solução de hidróxido de sódio 1 mol L⁻¹ sendo o recipiente fechado hermeticamente e mantido em local isento de luz por 10 dias. O

mesmo procedimento foi realizado para um recipiente contendo apenas a solução de hidróxido de sódio.

Durante o período de 10 dias a solução foi trocada 5 vezes para evitar a saturação da mesma (TIBBETT e CARTER, 2008), sendo que, a todas as soluções retiradas do recipiente foi imediatamente acrescido com 2 mL de uma solução de cloreto de bário 10% (m/V) para que o recipiente contendo o hidróxido de sódio fosse fechado e após 15 minutos submetido a titulação, com solução padronizada de ácido clorídrico 0,5 mol L⁻¹ utilizando como indicador 2 gotas de solução de fenolftaleína 1% (m/V) acrescida a solução de hidróxido de sódio.

A respiração microbiana é então calculada através da Equação 4.

$$\text{RBS (mg de C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ solo hora}^{-1}) = \frac{(V_b - V_a) \times [\text{HCl}] \times 6 \times 1000}{P_s \times t} \quad (4)$$

Onde,

- RBS = carbono oriundo da respiração basal;
- V_b (mL) = volume de ácido clorídrico gasto na titulação da solução de branco;
- V_a (mL) = volume de ácido clorídrico gasto na titulação da amostra;
- [HCl] = concentração molar do ácido clorídrico (mol L⁻¹);
- P_s (g) = massa do solo seco;
- t = tempo de incubação da amostra em horas.

Determinação do nitrogênio mineral

Para determinação do nitrogênio mineral (N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻) primeiramente foi realizada a extração de 20 g de solo úmido com 40 mL de solução de sulfato de potássio 0,5 mol L⁻¹. Esta mistura foi submetida à agitação em mesa agitadora horizontal por 30 min a 200 RPM sendo posteriormente filtrada com papel de filtro qualitativo (8 μm de porosidade). O extrato obtido foi mantido sob refrigeração (-4°C) até momento da análise quantitativa que foi realizada pelo método do salicilato de

sódio/ácido salicílico (CATALDO, D A *et al.*, 1975a, b; HARPER, 1924; MONTEIRO *et al.*, 2003; MOORCROFT, 2001; QIU *et al.*, 1987; SAHA *et al.*, 2012).

Quantificação de amônio (N-NH₄⁺)

Para quantificação de amônio nos extratos de solo foi utilizada uma alíquota de 0,100 mL dos extratos individualmente, a qual se adicionou 5,0 mL de solução N1 (preparada com 34 g de salicilato de sódio, 25 g de citrato de sódio e 25 g de tartarato de sódio e 0,12 g de nitroprussinato de sódio). Após o acréscimo desta, a mistura obtida foi agitada em vortex e mantida em repouso por 15 min para então ser adicionado 5,0 mL de solução N2 (preparada pela diluição de 30 g de hidróxido de sódio e 10 mL de hipoclorito de sódio em 1 L de água destilada). Seguindo da adição desta solução, a solução obtida foi novamente agitada em vortex e mantida em repouso por 1 hora para desenvolvimento de cor.

O extrato obtido após este período foi analisado por espectroscopia de absorção molecular no comprimento de onda de 655 nm utilizando um Espectrofotômetro Genesys 10S UV-VIS, Thermo Scientific, utilizando calibração externa com curva analítica nas concentrações de 0, 5, 10, 15, 20 e 25 µg mL⁻¹ de N-NH₄⁺.

Para o cálculo da concentração das amostras foram utilizadas as seguintes equações:

$$N - NH_4^+ (mg\ kg^{-1}\ de\ solo) = \frac{C \times V}{W} \quad (5)$$

$$W (g) = P - \left(\frac{U \times P}{100 + U} \right) \quad (6)$$

Onde, C é a concentração correta (ug/ml) obtida através da curva analítica; V é o volume de extrator utilizado (mL); W é a massa da amostra seca (g); P é a massa de amostra utilizada durante a extração (g); e U é a umidade gravimétrica da amostra (%).

Quantificação de nitrato ($N-NO_3^-$)

Para quantificação de nitrato nos extratos de solo foi utilizada uma alíquota de 0,5 mL dos extratos individualmente, a qual se adicionou 1,0 mL de solução de ácido salicílico 5% (m/V). Após o acréscimo desta, a mistura obtida foi agitada em vortex e mantida em repouso por 30 minutos para então ser adicionado 10 mL de hidróxido de sódio 4 mol L⁻¹. Posteriormente a solução foi novamente agitada em vortex e mantida em repouso por 1 hora para desenvolvimento de cor.

O extrato obtido após este período foi analisado por espectroscopia de absorção molecular no comprimento de onda de 410 nm utilizando um Espectrofotômetro Genesys 10S UV-VIS, Thermo Scientific, utilizando calibração externa com curva analítica nas concentrações de 0, 2, 4, 8, 10, 15, 20 e 25 µg mL⁻¹ de N-NO₃. Para o cálculo da concentração de nitrato nas amostras foram utilizadas as Equações 5 e 6.

ANÁLISES COM TFSA

Determinação do nitrogênio e carbono total

A determinação de nitrogênio e carbono total foi realizada pelo método de combustão por via seca (PERKINELMER, 2010; RIBEIRO, 2010), para a qual 5,0 g das amostras de TFSA foram previamente moídas em moinho vibratório Retsch mm400 para obtenção de partículas com 8 µm. A análise foi realizada em um Analisador Elementar Vario Max CN, Perkin Elmer, utilizando 1 g da amostra triturada.

pH em água e KCl

A determinação do pH em água foi efetuado utilizando 10 g de TFSA, a qual foi adicionado 25 mL de água destilada seguido de homogeneização manual, com

auxílio de bastão de vidro, por 1 min. A solução assim obtida permaneceu em repouso por 1 h. Após este período a medida do pH da amostra foi realizada utilizando um pHmetro AT-315, ALFAKIT.

Após a leitura do pH em água foi adicionada a mesma solução 1,86 g de cloreto de potássio (KCl) seguido novamente de homogeneização manual por 1 min com posterior repouso de 10 minutos, para que então fosse realizada a medida do pH e KCl.

Extração de cálcio, magnésio e alumínio trocável com solução de KCl

A extração de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} foi realizada conforme metodologia indicada por CLAESSEN (2009), na qual são adicionados 50 mL de uma solução extratora de cloreto de potássio (KCl) 1 mol L^{-1} à 5 g de TFSA. Após adição da solução extratora, a mistura é submetida a agitada em mesa de agitação horizontal por 15 min a 300 rpm e posteriormente filtrada com papel de filtro qualitativo com $8 \mu\text{m}$ de porosidade.

Determinação de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+})

A determinação de cálcio e magnésio foi realizada por Espectroscopia de Absorção Atômica em Chama (EAAF) utilizando um espectrômetro iCE 3000 da Thermo Scientific, com chama de ar/acetileno e nos comprimentos de onda de 422,7 nm para o cálcio e 285,2 nm para o magnésio.

A análise de ambos os elementos foi executada a partir de uma alíquota de 2 mL do extrato de KCl da amostra diluída, em um fator de 5 vezes, com 8 mL de uma solução de óxido de lantânio 0,1%.

As concentrações de cálcio e magnésio foram calculadas conforme as Equações 7, 8, 9 e 10.

$$\text{Ca}^{2+} (\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}) = (\text{amostra} \times \text{diluição} - \text{branco}) \times \frac{2}{10} \quad (7)$$

$$\text{Ca}^{2+} (\text{mg kg}^{-1}) = \text{Ca}^{2+} (\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}) \times 200,4 \quad (8)$$

$$\text{Mg}^{2+} (\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}) = (\text{amostra} \times \text{diluição} - \text{branco}) \times \frac{2}{24,213} \quad (9)$$

$$\text{Mg}^{2+} (\text{mg kg}^{-1}) = \text{Mg}^{2+} (\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}) \times 121,56 \quad (10)$$

Onde, Amostra é a leitura da concentração da amostra realizada pelo equipamento com base na curva de calibração; Branco é a leitura da concentração do branco realizado pelo equipamento com base na curva de calibração; e Diluição é a fator de diluição da amostra.

Determinação de alumínio trocável (Al^{3+})

A determinação de alumínio trocável foi realizada a partir de uma alíquota de 25 mL do extrato de KCl pela técnica de titulação volumétrica, na qual são adicionadas a alíquota 3 gotas de uma solução indicadora de azul de bromotimol 1 g L^{-1} e a mistura é titulada com uma solução de hidróxido de sódio $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ previamente padronizada.

O cálculo da concentração de alumínio trocável nas amostras foi realizado conforme as Equações 11, 12 e 13.

$$\text{Al}^{3+} (\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}) = \text{amostra} - (\text{branco} \times \text{Fator}) \quad (11)$$

$$\text{Fator} = \frac{N \times V \times 100}{V_a \times P} \quad (12)$$

$$\text{Al}^{3+} (\text{mg kg}^{-1}) = \text{Al}^{3+} (\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}) \times 89,936 \quad (13)$$

Onde, N é a concentração do hidróxido de sódio (mol L^{-1}); V é a volume da solução extratora utilizado na extração (mL); V_a é a volume da alíquota titulada (mL); e P é a massa da amostra de solo utilizada (g).

Extração de cobre, ferro, zinco, manganês, fósforo, potássio e sódio com solução de duplo ácido

A extração foi realizada pela mistura de 5 g de TFSA com 50 mL da solução extratora de duplo ácido ($\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$), e posterior agitação em mesa de agitação horizontal por 15 min a 300 rpm. Passado este tempo a solução resultante foi filtrada em papel de filtro qualitativo com porosidade de 8 μm e o extrato submetido a determinação de cobre, ferro, zinco, manganês, fósforo, potássio e sódio.

Determinação de ferro, potássio, zinco, manganês, cobre e sódio

A análise de ferro e potássio foi realizada utilizando o extrato em duplo ácido diluído em um fator de 5 vezes com água deionizada, através da homogeneização de uma alíquota de 2 mL do extrato da amostra com 8 mL de água deionizada. A mistura obtida foi então submetida à análise por espectroscopia de absorção atômica em chama.

A determinação de zinco, manganês, cobre e sódio foi realizada de maneira análoga utilizando o extrato sem diluição. A concentração destes elementos foi calculada pelo uso das Equações 14 à 21.

$$\text{Fe (mg kg}^{-1}\text{)} = \frac{(\text{amostra} \times \text{diluição} - \text{branco}) \times 50 \times 1000}{\frac{1000}{5}} \quad (14)$$

$$\text{K}^+ \text{ (cmolc kg}^{-1}\text{)} = \frac{(\text{amostra} \times \text{diluição} - \text{branco}) \times 50 \times 100}{1000 \times P \times 39,102} \quad (15)$$

$$\text{K}^+ \text{ (mg kg}^{-1}\text{)} = \text{K}^+ \text{ (cmolc kg}^{-1}\text{)} \times 39,102 \quad (16)$$

$$\text{Zn}^{2+} \text{ (mg kg}^{-1}\text{)} = \frac{(\text{amostra} \times \text{diluição} - \text{branco}) \times 50 \times 1000}{\frac{1000}{5}} \quad (17)$$

$$\text{Mn}^{2+} \text{ (mg kg}^{-1}\text{)} = \frac{(\text{amostra} \times \text{diluição} - \text{branco}) \times 50 \times 1000}{\frac{1000}{5}} \quad (18)$$

$$\text{Cu}^{2+} (\text{mg kg}^{-1}) = \frac{(\text{amostra} \times \text{diluição} - \text{branco}) \times 50 \times 1000}{\frac{1000}{5}} \quad (19)$$

$$\text{Na}^+ (\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}) = \frac{(\text{amostra} \times \text{diluição} - \text{branco}) \times 50 \times 100}{1000 \times P \times 22,9898} \quad (20)$$

$$\text{Na}^+ (\text{mg kg}^{-1}) = \text{Na}^+ (\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}) \times 230 \quad (21)$$

Onde, Amostra é a leitura da concentração da amostra realizada pelo equipamento com base na curva de calibração; Branco é a leitura da concentração do branco realizada pelo equipamento com base na curva de calibração; Diluição é o fator de diluição da amostra; e P é a massa (g) TFSA utilizada durante a extração.

Determinação de fósforo disponível

A determinação do fósforo foi realizada a partir de uma alíquota de 5 mL do extrato em duplo ácido da amostra, na qual se adicionou 1 mL de solução de molibdato de amônio e 1 mL de ácido ascórbico 3% com posterior homogeneização em vortex e repouso de 30 minutos para desenvolvimento de coloração.

Passado este tempo a leitura de absorbância foi realizada no comprimento de onda de 660 nm em espectrofotômetro UV MINI 1240 Shimadzu, Perkin Elmer. As concentrações utilizadas para construção da curva analítica, foram de 0; 0,1; 0,3; 0,6; 0,9 e 1,2 $\mu\text{g mL}^{-1}$ de fósforo. A concentração de fósforo disponível foi calculada através das Equações 22 e 23.

$$P (\mu\text{g mL}^{-1}) = (\text{amostra} \times \text{intercepção}) + \text{inclinação} \times \text{diluição} \quad (22)$$

$$P (\text{mg kg}^{-1}) = \frac{P (\mu\text{g mL}^{-1}) \times 50}{P} \quad (23)$$

Onde, Amostra é a leitura de absorbância da amostra; Intercepção = valor de intercepção do eixo Y da curva analítica; Inclinação é o valor de inclinação da curva analítica; Diluição é o fator de diluição dos extratos da amostras quando esta for

realizada; 50 é o volume de solução extratora utilizada; e P é a massa (g) de TFSA utilizado na extração.

Análise granulométrica

A análise granulométrica foi realizada apenas nas amostras coletadas antes do início do experimento para caracterizar os locais onde as carcaças foram depositadas. O método escolhido foi de dispersão total com pré-tratamento da amostra para eliminação da matéria orgânica.

A eliminação da matéria orgânica foi realizada utilizando 20 g de TFSA a qual foram adicionados 8 mL de água destilada e 10 mL de peróxido de hidrogênio 10 % (V/V) a amostra, e esta foi mantida em repouso durante 24 h. Passado este período se adicionou 400 mL de água destilada e a mistura obtida foi aquecida a 250 °C, para eliminação do peróxido de hidrogênio, por aproximadamente 4 h.

Após as amostras alcançarem temperatura ambiente foi adicionado a estas 20 mL de solução de hidróxido de sódio 1 mol L⁻¹ e estas foram submetidas a agitação em agitador tipo Wagner por 12 h.

Passado este período, a solução obtida foi passada por uma peneira de malha 0,053 mm, sendo que o material retido na peneira foi destinado a secagem em estufa, de forma análoga a determinação da umidade, para quantificação da fração de areia total.

O material que ultrapassou a malha da peneira foi recolhido e posicionado em uma proveta de 1000 mL, cujo volume foi aferido com água destilada para em seguida a amostra ser agitada manualmente. Em seguida, a temperatura do branco da análise foi aferida para determinar o tempo de dispersão das partículas de 20 µm a altura de 5 cm a partir da superfície do líquido (CLAESSEN *et al.*, 2009).

Passado o tempo estabelecido, foram pipetados 20 mL da amostra a uma profundidade de 5 cm, e este material foi destinado a secagem em estufa para determinação da fração argila, ressaltando que o mesmo procedimento foi realizado com o branco da análise.

As frações de areia total, argila e silte foram calculadas pelas Equações 24 à 29.

$$\text{Argila (\%)} = \frac{(P_{arg} - PD) \times 1000 \times 100}{20 \times P_a} \quad (24)$$

$$\text{Areia (\%)} = \frac{P_{areia} \times 100}{P_a} \quad (25)$$

$$\text{Silte (\%)} = 100 - \text{Argila (\%)} - \text{Areia (\%)} \quad (26)$$

$$\text{argila (g}^{-1} \text{ kg de solo)} = \text{Argila (\%)} \times 10 \quad (27)$$

$$\text{areia (g}^{-1} \text{ kg de solo)} = \text{Areia (\%)} \times 10 \quad (28)$$

$$\text{silte (g}^{-1} \text{ kg de solo)} = \text{silte (\%)} \times 10 \quad (29)$$

TRATAMENTO DOS DADOS

A partir das observações realizadas durante o experimento foi estimada a duração que cada fase de decomposição dos espécimes suínos de acordo com a identificação de características descritas por Oliveira-Costa (2011) e Tibbet e Carter (2008).

Todos os dados obtidos foram tratados estatisticamente utilizando, o software OriginPro 9.0, correlacionando os teores obtidos com o estágio de decomposição. Além disso, foi realizada análise por estatística descritiva, para obter os valores médios e desvios-padrão de cada parâmetro estudo durante as coletas (APÊNDICE C), sendo que, para isto foi considerado que o solo coletado abaixo de cada espécime em

decomposição corresponde a uma réplica do tipo de deposição (enterrados e expostos) a qual a carcaça foi submetida, totalizando três réplicas para cada forma de deposição.

Cada parâmetro estudado foi submetido à análise de normalidade pelos testes de Shapiro-Wilk e Kolmogorov Smirnov. A similaridade entre os grupos amostrais (solo abaixo das carcaças enterradas, solo abaixo das carcaças expostas e solo controle) em cada parâmetro estudado foi analisada pelos testes ANOVA *one-way*, para os parâmetros que apresentaram distribuição normal, e Mann-Whitney, para os parâmetros que apresentaram distribuição fora da normalidade.

Por fim, também foi estudada a similaridade dos efeitos causados pelas carcaças nas características do solo, através de análise multivariada pela Análise de Agrupamentos Hierárquicos (HCA) e pela Análise dos Componentes Principais (PCA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

CARACTERÍSTICAS DO SÍTIO EXPERIMENTAL

O experimento com animais foi realizado entre os meses de maio e julho de 2015, na estação chuvosa, sendo possível observar os valores da temperatura ambiente, umidade relativa do ar e precipitação na Figura 7, ressaltando que o dia 0 se refere ao mesmo dia em que os animais foram eutanasiados. Os locais selecionados como sítio de deposição das carcaças suínas foram escolhidos dentro de uma trilha com aproximadamente 2 m de largura e extensão total desconhecida (Figura 8), aberta no sentido Leste – Oeste da Reserva Adolpho Ducke, entretanto fora das 72 topossequências que englobam as nascentes de riachos e bacias de drenagem.

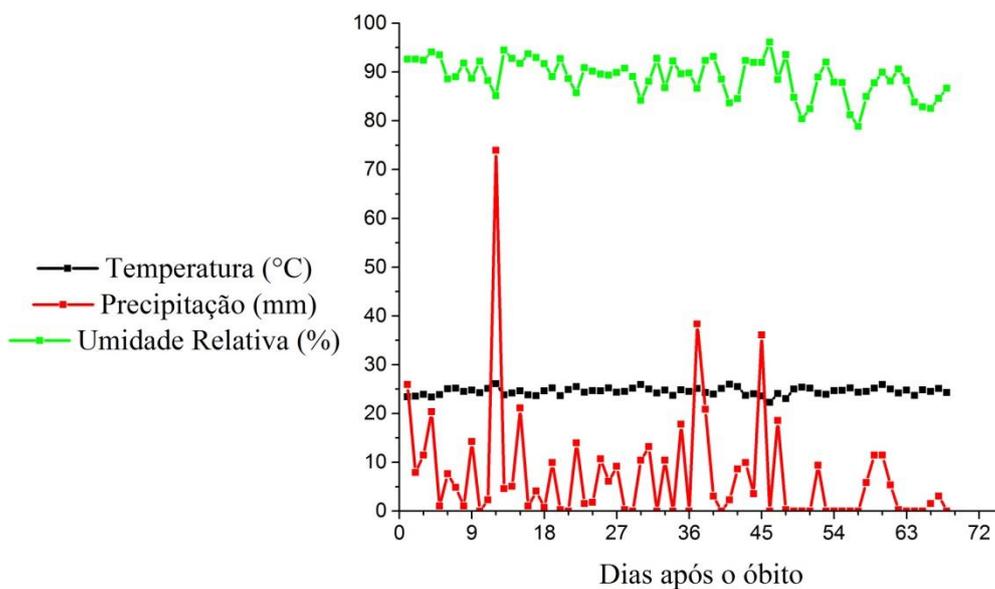


Figura 7. Precipitação, Umidade relativa e Temperatura do ambiente durante a realização do experimento com animais.



Figura 8. Características da mata no local de realização do experimento.

As características biofísico-químicas encontradas nos sítios de deposição dos suínos antes do óbito destes podem ser observadas na Tabela 4, onde se observa que o solo dos sítios de deposição pode ser classificado como latossolo argilo-arenoso de forte acidez e de baixa fertilidade para cultivo, por tornar o nitrogênio inorgânico e o potássio mais suscetíveis a lixiviação, o que explica os baixos teores encontrados. Os altos níveis de alumínio e ferro também estão ligados diretamente ao pH do solo, uma vez que estes podem se agregar as partículas de solo ou precipitar-se em formas pouco solúveis em pH baixo (TROEH e THOMPSON, 2007).

Tabela 4. Características físico-químicas do solo nos pontos de coleta antes da inserção das carcaças em decomposição.

	Pontos de coleta					
	Solo distante (média ± DP)		Enterrados (média ± DP)		Expostos (média ± DP)	
Profundidade (cm)	0 - 10	10 - 20	0 - 10	10 - 20	0 - 10	10 - 20
C/N	14,08 ± 0,72	13,92 ± 1,76	14,17 ± 1,46	12,92 ± 0,94	14,28 ± 0,55	14,52 ± 0,52
Carbono total (%)	1,11 ± 0,10	0,90 ± 0,14	0,66 ± 0,10	0,54 ± 0,05	1,07 ± 0,20	0,90 ± 0,13
Nitrogênio total (%)	0,079 ± 0,009	0,065 ± 0,013	0,041 ± 0,014	0,042 ± 0,003	0,075 ± 0,017	0,062 ± 0,007
Umidade (%)	23,49 ± 3,60	23,44 ± 8,20	23,77 ± 0,64	22,95 ± 2,27	22,37 ± 2,14	25,31 ± 4,45
pH em água	4,67 ± 0,29	4,44 ± 0,37	4,21 ± 0,16	4,27 ± 0,14	4,16 ± 0,19	4,21 ± 0,15
pH em KCl	4,25 ± 0,33	4,17 ± 0,49	4,66 ± 0,05	4,42 ± 0,11	4,41 ± 0,15	4,53 ± 0,08
NH ₃ (mg kg ⁻¹)	6,07 ± 3,58	6,93 ± 4,83	7,38 ± 0,47	5,46 ± 0,46	4,88 ± 1,31	4,66 ± 1,55
NO ₃ (mg kg ⁻¹)	3,27 ± 2,31	1,58 ± 0,85	4,25 ± 0,95	5,58 ± 3,24	4,90 ± 1,91	4,613 ± 3,56
CBMS* (mg C microbiano kg ⁻¹)	25,94 ± 24,62	33,38 ± 24,73	22,35 ± 6,41	17,86 ± 9,65	34,41 ± 20,46	25,82 ± 9,83
RB** (mg de C-CO ₂ kg ⁻¹ hora ⁻¹)	40,73 ± 22,75	94,00 ± 47,42	11,50 ± 5,44	15,76 ± 6,16	18,53 ± 17,56	13,00 ± 4,95
Al ³⁺ (mg kg ⁻¹)	62,06 ± 13,68	66,55 ± 18,17	54,56 ± 3,96	50,06 ± 4,95	79,74 ± 8,36	63,85 ± 16,51
Ca ²⁺ (mg kg ⁻¹)	8,50 ± 1,19	6,50 ± 1,38	4,67 ± 0,76	5,17 ± 0,76	5,50 ± 1,50	6,33 ± 2,36
Cu ²⁺ (mg kg ⁻¹)	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,08 ± 0,14	0,75 ± 1,30	0,08 ± 0,14	0,25 ± 0,25
Fe ³⁺ (mg kg ⁻¹)	6322,50 ± 1373,54	6572,50 ± 1267,58	4018,33 ± 2339,55	4655,83 ± 248,22	6218,33 ± 1292,06	7210,00 ± 274,15
P ³⁺ (mg kg ⁻¹)	1,60 ± 0,21	0,55 ± 0,11	0,39 ± 0,03	0,26 ± 0,04	0,97 ± 0,31	0,85 ± 0,54
Mg ²⁺ (mg kg ⁻¹)	5,12 ± 1,60	4,62 ± 0,90	3,28 ± 0,29	3,11 ± 0,00	5,12 ± 0,50	4,45 ± 1,05
Mn ²⁺ (mg kg ⁻¹)	25,00 ± 3,97	27,50 ± 2,89	21,67 ± 1,44	21,67 ± 1,44	24,17 ± 3,82	24,17 ± 3,82
K ⁺ (mg kg ⁻¹)	11,70 ± 7,95	9,70 ± 3,90	4,37 ± 2,02	7,03 ± 3,62	14,20 ± 10,50	9,20 ± 1,50
Na ⁺ (mg kg ⁻¹)	5,67 ± 1,61	3,90 ± 2,41	1,20 ± 0,14	2,70 ± 0,34	5,37 ± 4,75	2,87 ± 0,83
Zn ²⁺ (mg kg ⁻¹)	7,50	2,50	1,67 ± 1,44	3,33 ± 1,44	5,00 ± 0,00	5,83 ± 1,44
% argila	33,00	40,00	42,25 ± 2,22	46,25 ± 1,64	35,25 ± 3,44	37,50 ± 4,19
% silte	4,41	4,97	7,52 ± 2,00	5,33 ± 2,00	5,63 ± 0,97	5,61 ± 1,37
% areia	62,59	55,03	48,75 ± 5,15	47,22 ± 0,99	58,31 ± 3,93	57,24 ± 2,86

* = carbono da biomassa microbiana

** = respiração basal

FASES DE DECOMPOSIÇÃO CADAVÉRICA

Suínos expostos

Os suínos mantidos sobre o solo atingiram o estágio de esqueletização em 11 dias, apresentando um tempo total de decomposição de aproximadamente 30 dias, quando foi possível identificar o fim da fase de restos, conforme mostra a Figura 9. Para estes espécimes a fase fresca teve duração aproximada de 24 h enquanto a fase enfisematose perdurou por 2 dias, apesar das perfurações ocasionadas por besouros do gênero *Coprophaneus*. A fase coliquativa teve duração de 3 dias, com uma intensa formação de massa larval (Figura 10) e colonização das carcaças por artrópodes das espécies *Hemilucilia segmentaria* e *Oxelytrum cayennense*, sem que ocorresse a formação de colônias fungicas. A terceira fase de decomposição foi observada apenas por dois dias devido ao processo de saponificação que ocorreu em todos os espécimes expostos, o qual durou 5 dias sendo seguido pela fase de esqueletização. Todas as fases de decomposição podem ser observadas na Figura 9.

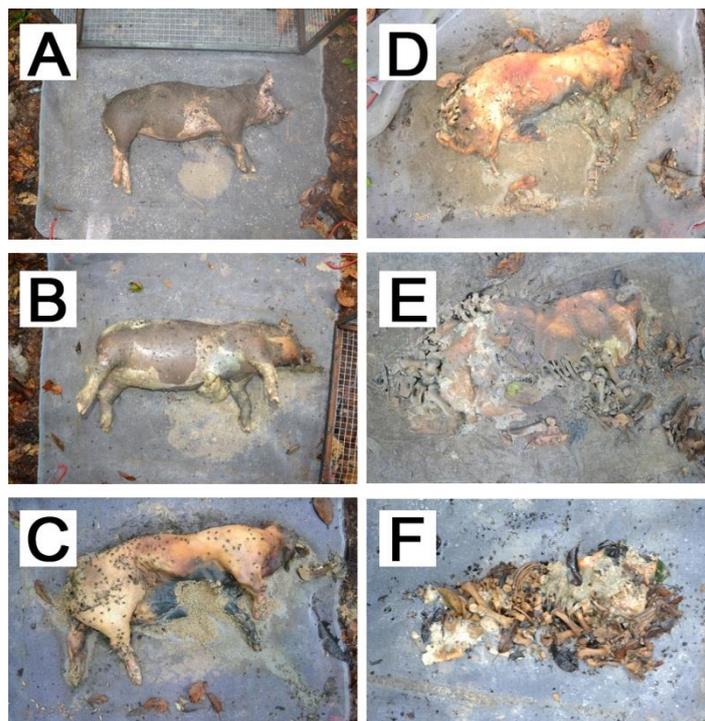


Figura 9. Fases de decomposição observadas nos suínos expostos: fase fresca (a), fase enfisematosa (b), fase coliquativa (c), fase de saponificação (d), fase de esqueletização (e), fase de restos (f).



Figura 10. Formação da massa larval nos suínos expostos.

A fase de esqueletização nestes espécimes teve duração de 5 dias com ausência de colônias fúngicas, as quais estiveram presentes apenas ao fim da fase de restos, colonizando a ossada por 5 dias (Figura 11).



Figura 11. Fungos observados nas carcaças expostas durante a fase de restos.

O tempo de decomposição observado foi similar a dados encontrados previamente na Reserva Florestal Adolpho Ducke (FRAGA, 2004; MISE *et al.*, 2010), entretanto com relativas diferenças com o observado nas regiões Sul (RIES, 2013) e Sudeste do Brasil (CAVALLARI *et al.*, 2015), onde carcaças suínas similares as utilizadas neste experimento se decompõem em média em 14 e 7 dias, respectivamente, sem sofrerem o processo de saponificação.

A saponificação consiste e um processo preservativo do cadáver que ocorre em condições de temperatura e umidade altas, na qual ocorre a hidrólise de triglicérides pela ação de enzimas para produzir a adipocere, ou sabão cadavérico, constituído de sais de ácidos graxos (HAGLUND e SORG, 1996; NELSON e COX, 2002). Durante o experimento foi observada a formação da adipocere inicialmente no pescoço dos suínos, região na qual há maior acumulo de lipídios, proliferando-se por toda a extensão do cadáver como uma espessa e rígida camada isolante. Vale ressaltar que em um cadáver humano a formação se inicia geralmente no abdômen (CHRISTENSEN *et al.*, 2014).

A acidificação dos fluidos corporais, o alto teor de água e a presença de íons sódio e potássio provenientes do meio intracelular e da degradação das membranas celulares fornecem, internamente um meio favorável para a saponificação de lipídios (Figura 12).

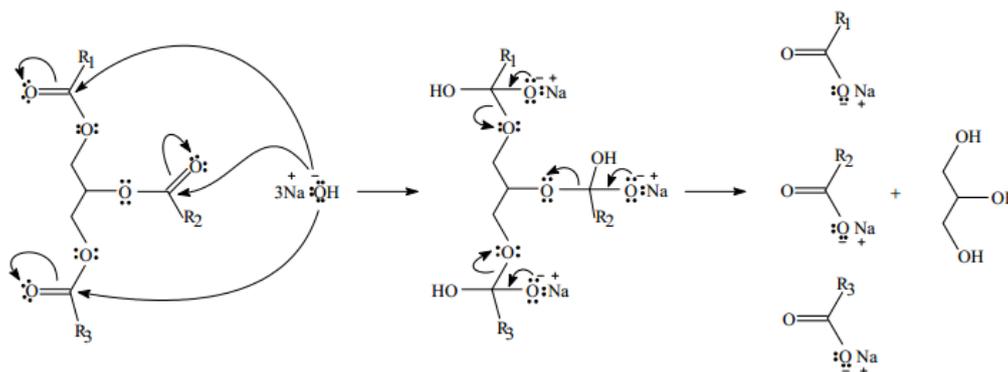


Figura 12. Reação de saponificação de triglicerídeos, onde R_1 , R_2 e R_3 corresponde a cadeias carbônicas longas.

Suínos enterrados

Os suínos mantidos abaixo do solo demoraram 42 dias para alcançar a fase de esqueletização, sendo necessários 67 dias para alcançar a fase de restos, dos quais a fase fresca foi observada apenas no dia do óbito, a fase enfisematose foi identificada no terceiro dia após o óbito e a fase coliquativa entre o 6^o e 42^o dia após o óbito. Lembrando que a identificação das fases de decomposição destes espécimes era realizada apenas durante as coletas de solo para evitar interferências advindas do contato excessivo das carcaças com o microclima acima do solo. Todos os estágios de decomposição podem ser observados na Figura 13.

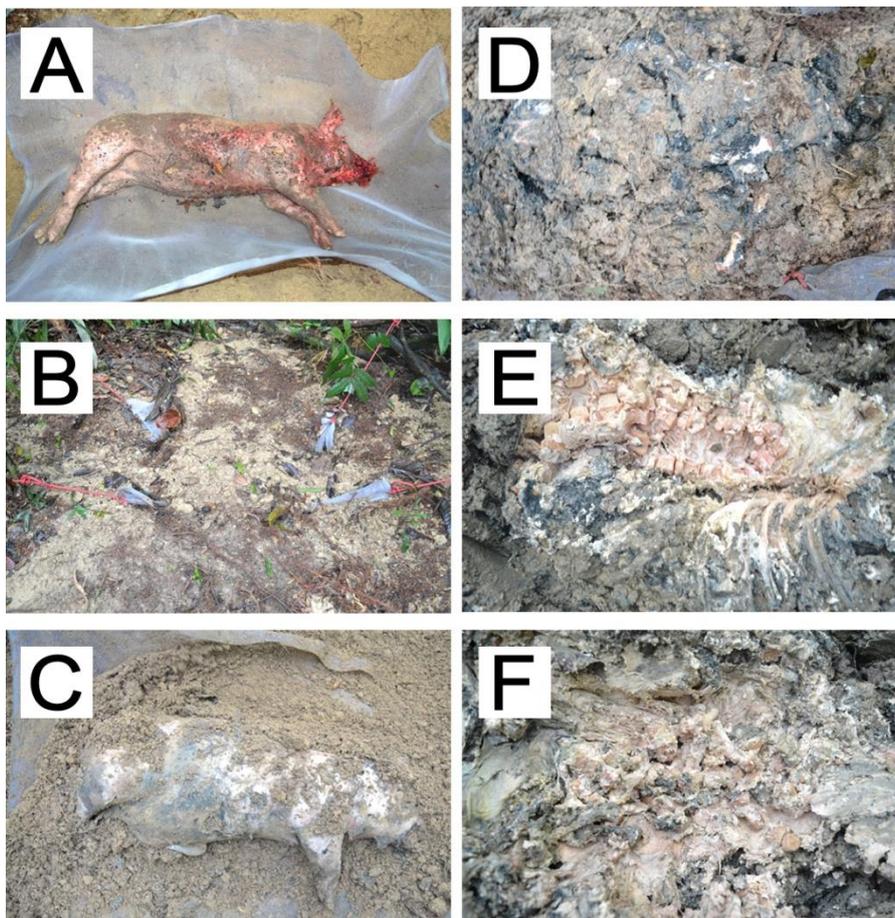


Figura 13. Fases de decomposição observadas nos espécimes enterrados: (a) fase fresca, (b) aparência externa da cova, (c) fase enfisematose, (d) fase coliquativa, (e) fase de esqueletização, (f) fase de restos.

Ainda assim, foi notável a preservação da carcaça abaixo do solo quando comparada com o experimento realizado acima do solo. Diferente do que foi observado nas carcaças expostas, os espécimes enterrados foram colonizados apenas por besouros do gênero *Coprophanaeus*, durante os primeiros 6 dias de decomposição, além das extensas colônias fungicas que se desenvolveram no interior da cova a partir do 15º dia após óbito (Figura 14).



Figura 14. Colônias fúngicas encontradas ao fundo das covas dos espécimes enterrados.

Durante as coletas foi possível observar o acúmulo de necrochorume, ao redor de todas as carcaças, com viscosidade maior que o observado nos espécimes acima do solo (Figura 15), fato que pode ser atribuído tanto a adsorção da água liberada pelas carcaças no solo quanto a ausência de fluidos provenientes do metabolismo da massa larval, a qual foi inexistente nos espécimes enterrados durante todo o experimento. Vale ressaltar que as carcaças enterradas não apresentaram saponificação do tecido.



Figura 15. Cobertura de necrochorume presente no solo ao redor das carcaças enterradas, evidenciado por seta.

Durante o experimento foi notável a diferença na velocidade de decomposição entre as carcaças expostas sobre o solo e as enterradas, sendo aproximadamente 4 vezes

maior o tempo necessário para atingir a fase de esqueletização abaixo do solo, diferente do que postula a Regra de Casper, na qual a decomposição abaixo do solo seria 8 vezes mais lenta que a decomposição acima do solo devido a ausência de insetos necrófagos e temperatura do ambiente (NIEDEREGGER *et al.*, 2015b). Apesar de esta regra ser utilizada desde 1860 na determinação do IPM, a realização de pesquisas como estas podem trazer maior confiabilidade aos modelos de previsão do IPM (CHRISTENSEN *et al.*, 2014; NIEDEREGGER *et al.*, 2015b).

Vale ressaltar que não foram encontrados dados na literatura sobre o tempo de decomposição de carcaças enterradas no Brasil. Contudo, o tempo observado nesta pesquisa foi consideravelmente menor que o observado em outros países, como Canadá, Reino Unido, Colômbia e Turquia, nos quais carcaças suínas enterradas demoram 6, 24, 7, e 6 meses para atingir a fase de restos, respectivamente (SCHOTSMANS *et al.*, 2011; VAN BELLE *et al.*, 2009; WILSON *et al.*, 2007; WOLFF *et al.*, 2001).

UMIDADE E pH

A umidade do solo coletado foi analisada pelo teste estatístico não-paramétrico de Mann-Whitney, no qual foi possível observar uma diferença significativa dos resultados obtidos entre o solo abaixo das carcaças em decomposição expostas com o solo controle, em um nível de confiança de 95 %, devido ao intenso fluxo de água liberado durante a transição entre as fases enfisematose e coliquativa, ressaltando que mamíferos possuem até 70 % da massa corpórea correspondente a água. Os valores médios encontrados para umidade do solo abaixo dos suínos expostos foi de 33,4 % durante o experimento, enquanto que, o resultado médio obtido para o solo distante foi de 23,3 %.

A umidade relativa do solo abaixo das carcaças enterradas não apresentou diferença significativa com relação ao solo controle, fato que pode ser atribuído a lenta transição entre as fases enfisematose e coliquativa, e conforme foi possível observar durante as coletas, o extravasamento de necrochorume destes espécimes ocorreu de forma mais lenta em quantidades insuficientes para causar um acúmulo de água no solo, devido a taxa de drenagem moderada dos solos argilo-arenosos (TROEH e THOMPSON, 2007). A umidade média obtida durante o experimento para os espécimes enterrados foi de 25,7 %.

O pH em água dos suínos expostos e enterrados demonstrou uma diferença significativa em relação ao solo controle (Figura 16) à um nível de confiança de 95 % pelo teste ANOVA. Em ambos os tipos de espécimes em decomposição foi possível observar a alcalinização do solo ocasionado pela presença das carcaças, sendo os maiores valores de pH em água observados nas carcaças enterradas de $7,38 \pm 0,32$ (42º dia após o óbito) e $7,24 \pm 0,14$ (30º dia após o óbito) nas profundidades de 0 à 10 cm e 10 à 20 cm, respectivamente. Por outro lado, os maiores valores observados no solo abaixo das carcaças expostas foram de $7,03 \pm 0,12$ (profundidade 0 - 10 cm) e $6,90 \pm 0,25$ (profundidade 10 - 20 cm) no 21º dia após o óbito, quando houve extensa colonização dos restos por fungos.

Além disso, após o 30º dia de decomposição, quando os espécimes expostos já se encontravam em fase de restos o pH do solo abaixo destes apresentou um rápido decréscimo, apresentando valores próximos ao encontrado no solo controle e no início do experimento, antes da inserção das carcaças. Durante o experimento o pH do solo controle manteve um valor médio de $4,71 \pm 0,08$ e $4,69 \pm 0,13$ nas profundidades de 0 – 10 e 10 – 20 cm, respectivamente.

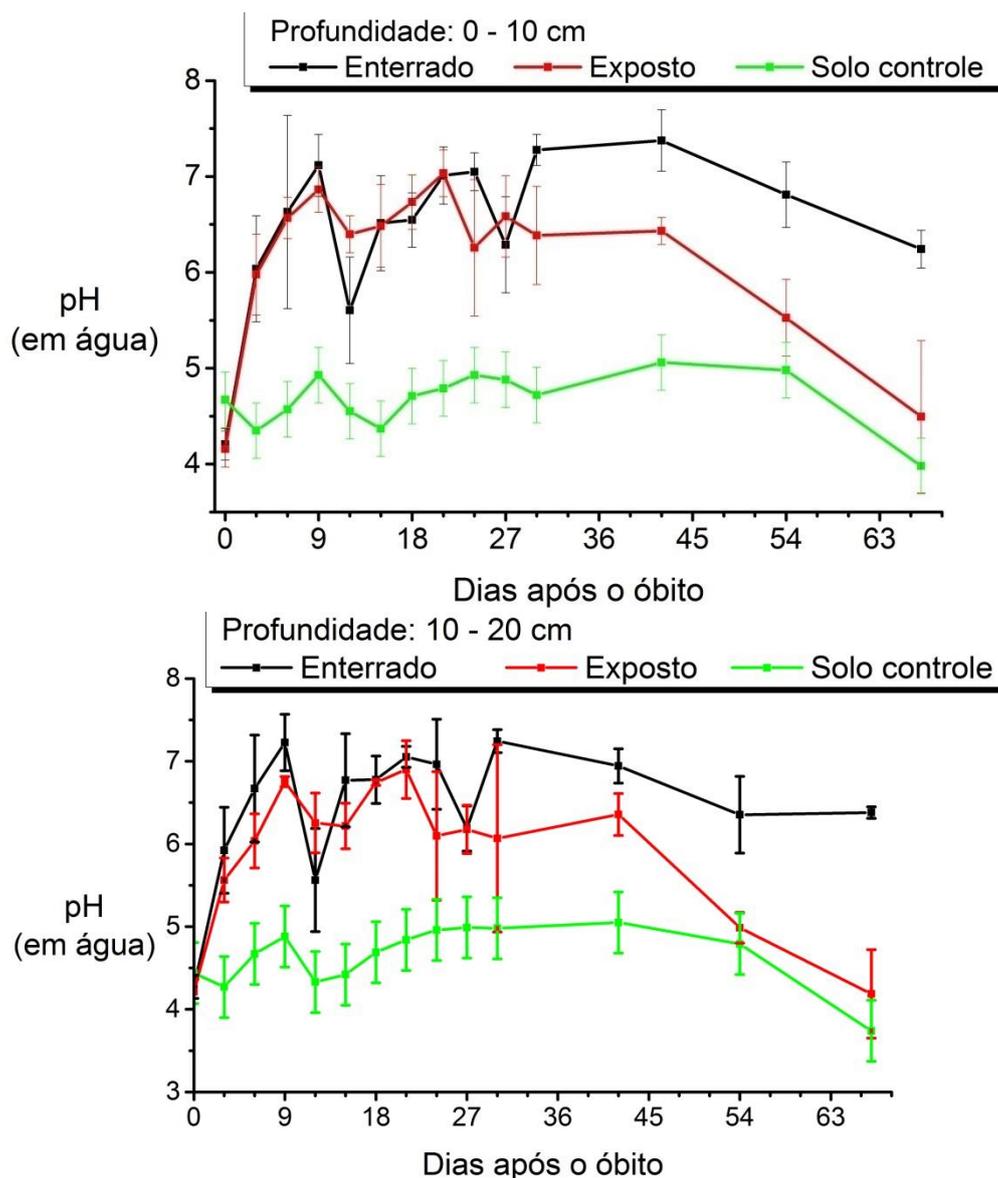


Figura 16. Valores de pH em água do solo abaixo das carcaças em decomposição durante o experimento.

O pH em KCl das amostras seguiu o mesmo comportamento observado no pH em água, porém apresentando um comportamento ligeiramente mais ácido do que o observado anteriormente (Figura 17), devido a acidez potencial das partículas de solo (TROEH e THOMPSON, 2007). Os valores máximos de pH obtidos nos suínos enterrados durante o experimento foram de $5,71 \pm 0,41$ e $5,66 \pm 0,52$ no 24º dia após o óbito, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente. No caso dos espécimes expostos, os valores máximos de pH em KCl foram de $5,47 \pm 0,18$ no 21º dia de

experimento e na profundidade de 0 à 10 cm, e $5,44 \pm 0,45$ no 30º dia de experimento em profundidade 10 à 20 cm, enquanto que, o solo controle manteve valor médio de $4,36 \pm 0,11$ e $4,41 \pm 0,24$ durante a realização do experimento, nas profundidades de -10 e 10-20 cm, respectivamente.

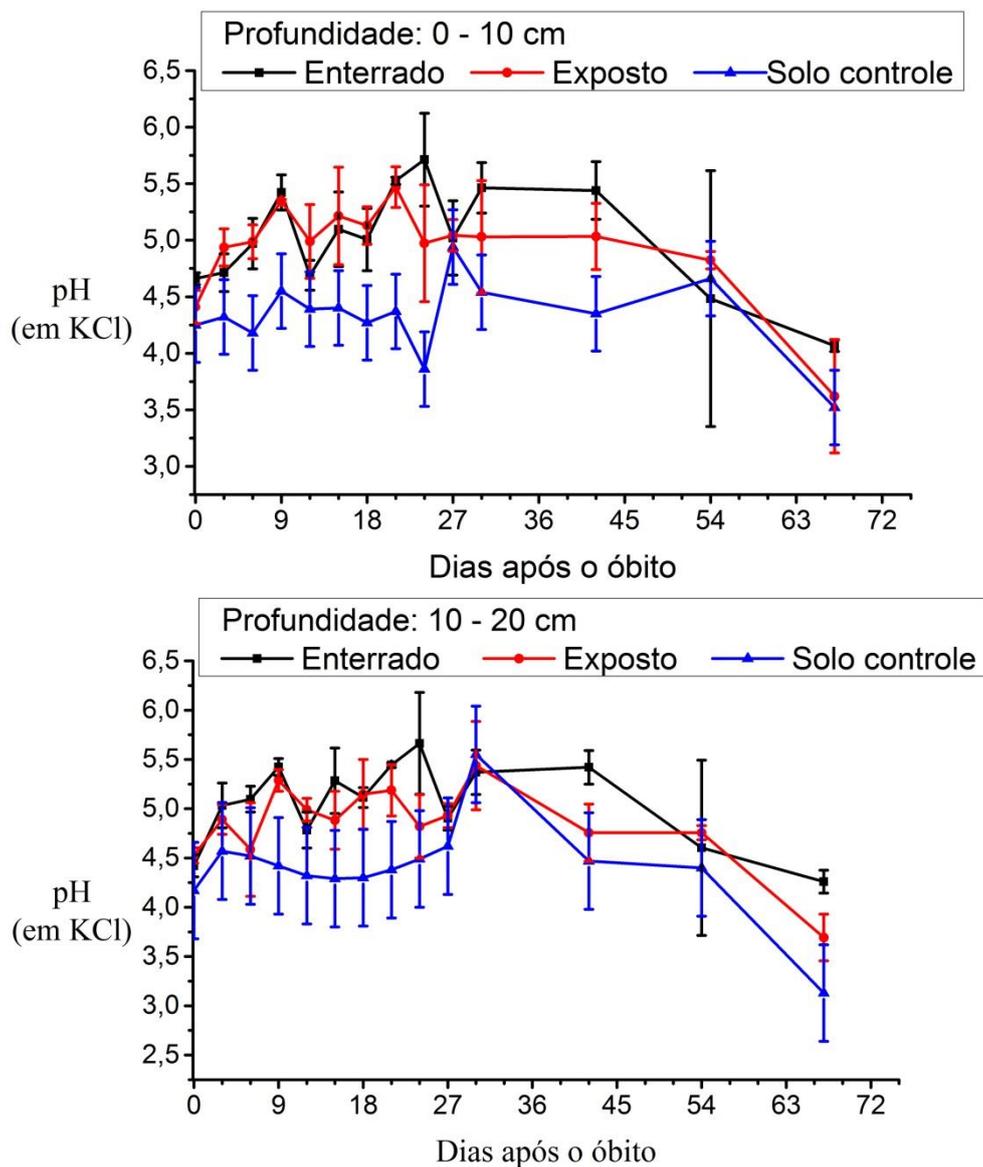
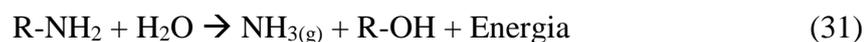
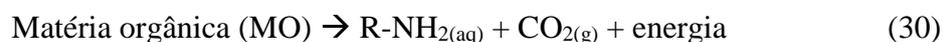


Figura 17. Valores de pH em KCl do solo abaixo das carcaças em decomposição durante o experimento.

Como não ocorreram alterações no valor de pH do solo controle, pode-se assumir que as variações observadas são provenientes da presença das carcaças em decomposição, ressaltando que não houve diferença estatística no efeito que cada carcaça ocasionou no pH do solo. A alcalinização do solo durante a decomposição ativa

de matéria orgânica já foi reportada pela literatura (CARTER *et al.*, 2010; HASLAM e TIBBETT, 2009; MEYER *et al.*, 2013), sendo geralmente atribuída a três fatores principais, que são: a capacidade tamponante do solo, a qual pode impedir a modificação do pH durante a decomposição (VAN BELLE *et al.*, 2009); o processo de amonificação de compostos orgânicos nitrogenados (MEYER *et al.*, 2013) e complexação de ácidos orgânicos com íons de alumínio (Al^{3+}) (PAVINATO e ROSOLEM, 2008).

Contudo, segundo a literatura, o principal motivo do aumento do pH do solo abaixo de carcaças em decomposição ocorre devido ao processo de amonificação da matéria orgânica (MEYER *et al.*, 2013; TOMBERLIN e BENBOW, 2014), o qual ocorre através do metabolismo de bactérias, sendo favorecida em ambientes úmidos e culminando na alcalinização da solução de solo, conforme mostra as equações 30 à 32 (LUCHESE *et al.*, 2001)



AMONIO E NITRATO

Durante o experimento a concentração de amônio ($N\text{-NH}_4^+$) no solo apresentou uma distribuição normal realizada pelo teste de variância ANOVA. Foi observado um aumento significativo nas concentrações $N\text{-NH}_4^+$ nas duas profundidades estudadas do solo abaixo dos espécimes utilizados (figura 18) quando comparado ao solo controle, que manteve valores médios de $6,48 \pm 3,58 \text{ mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$ (profundidade de 0 – 10 cm) e $4,63 \pm 4,83 \text{ mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$ (profundidade de 10 – 20 cm).

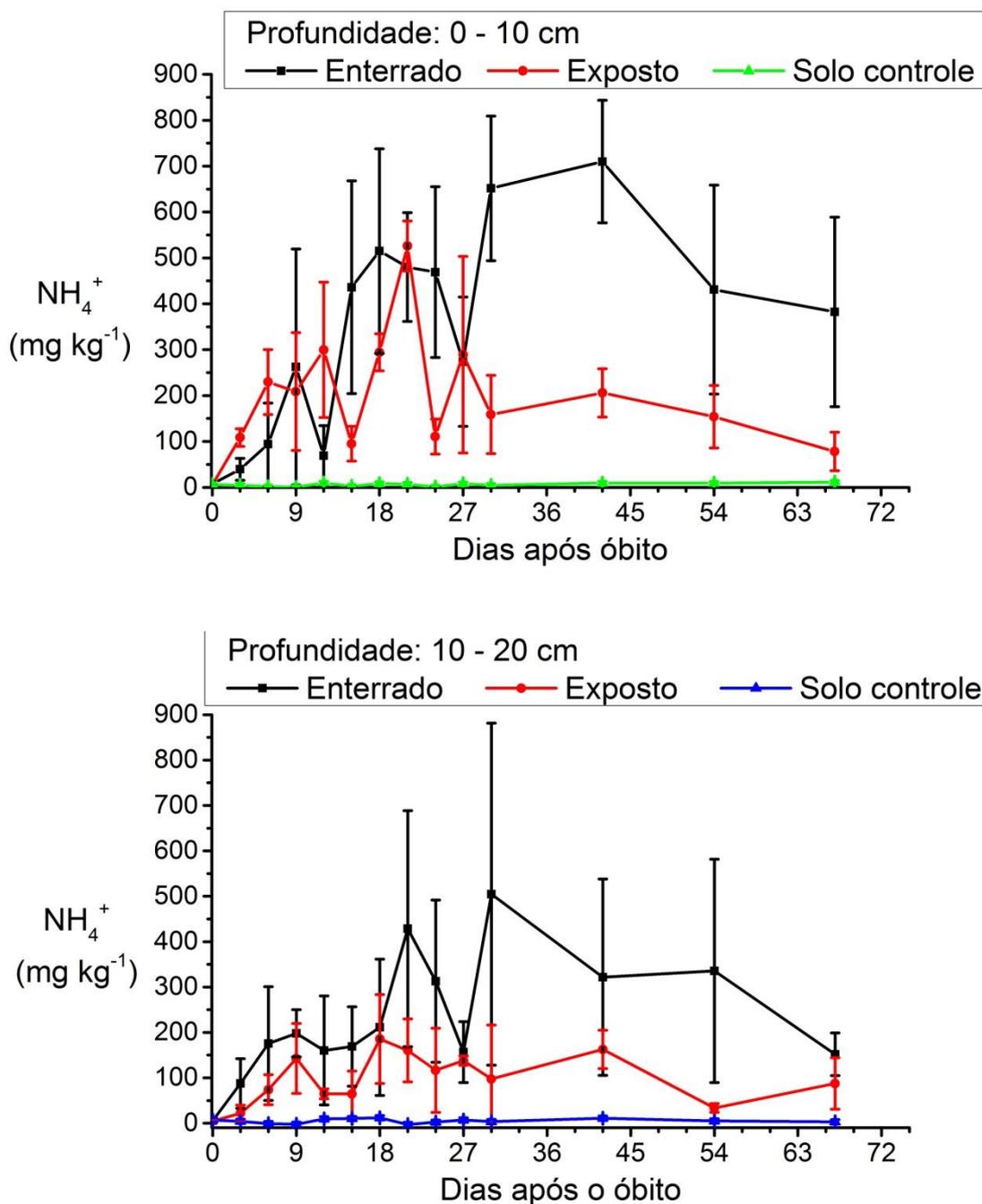


Figura 18. Concentrações N-NH₄⁺ obtidas durante o experimento.

As maiores concentrações do íon observado nos espécimes enterrados foram de $709,97 \pm 133,42$ mg N—NH₄⁺ kg⁻¹ (profundidade de 0 – 10 cm) e $504,62 \pm 376,65$ mg N—NH₄⁺ kg⁻¹ (profundidade de 10 – 20 cm) nos dias 42 e 30, respectivamente, enquanto que para os espécimes expostos os máximos de concentração foram de $525,93 \pm 54,78$ mg N—NH₄⁺ kg⁻¹ (profundidade de 0 – 10 cm) e $185,60 \pm 98,06$ mg N—NH₄⁺ kg⁻¹ (profundidade de 10 – 20 cm), nos dias 21 e 18, respectivamente.

Os espécimes apresentaram comportamento distinto na profundidade de 0 – 10 cm no que diz respeito às concentrações de amônio, conforme pode ser observado na Figura 18, principalmente do 30º dia de experimento quando as carcaças expostas já se apresentavam no fim da fase de restos, isso se deve a diferente taxa de decomposição dos espécimes, a qual foi possível acompanhar a partir do tempo que cada fase de decomposição demorou. A decomposição mais lenta abaixo do solo causa uma liberação de compostos nitrogenados mais vagarosa permitindo melhor crescimento de fungos e bactérias amonificantes (VAN BELLE *et al.*, 2009).

O processo de amonificação da matéria orgânica ocorre através da ação de microorganismos anaeróbicos, (LUCHESE *et al.*, 2001) o que faz com que os maiores níveis de amônio tenham sido observados após a fase coliquativa, quando o maior fluxo de necrochorume torna o solo cada vez deficiente de oxigênio (TOMBERLIN e BENBOW, 2014). Vale ressaltar que a amonificação da matéria orgânica ocorre preferencialmente em solos com pH alcalino, e conforme dito anteriormente, durante esse processo ocorre a alcalinização do solo o que gradativamente torna o ambiente mais favorável para as bactérias amonificantes no decorrer da decomposição da matéria orgânica (TROEH e THOMPSON, 2007). As maiores concentrações encontradas na profundidade de 0 – 10 cm se deve a alta taxa e imobilização do amônio na superfície da argila (LUCHESE *et al.*, 2001).

Na literatura é observado um comportamento similar ao encontrado neste estudo, porém, com relação ao nitrogênio orgânico reativo a ninidrina, que corresponde as formas orgânicas do nitrogênio no solo (CARTER *et al.*, 2010; MEYER *et al.*, 2013; SPICKA *et al.*, 2011; VAN BELLE *et al.*, 2009). O decréscimo observado nos espécimes expostos a partir do 30º dia, pode estar relacionado a recuperação do solo

uma vez que neste ponto as carcaças expostas não podiam mais ser caracterizadas como uma fonte rica em compostos nitrogenados (TOMBERLIN e BENBOW, 2014).

As concentrações de nitrato observadas durante o experimento não apresentaram uma distribuição normal, sendo analisados pelo teste de Mann – Whitney. Foi observado um decréscimo nos níveis de nitrato no solo abaixo das carcaças em decomposição quando comparados ao solo controle (Figura 19). Além disso, os suínos expostos apresentaram efeitos distintos nas concentrações de nitrato quando comparados aos espécimes enterrados.

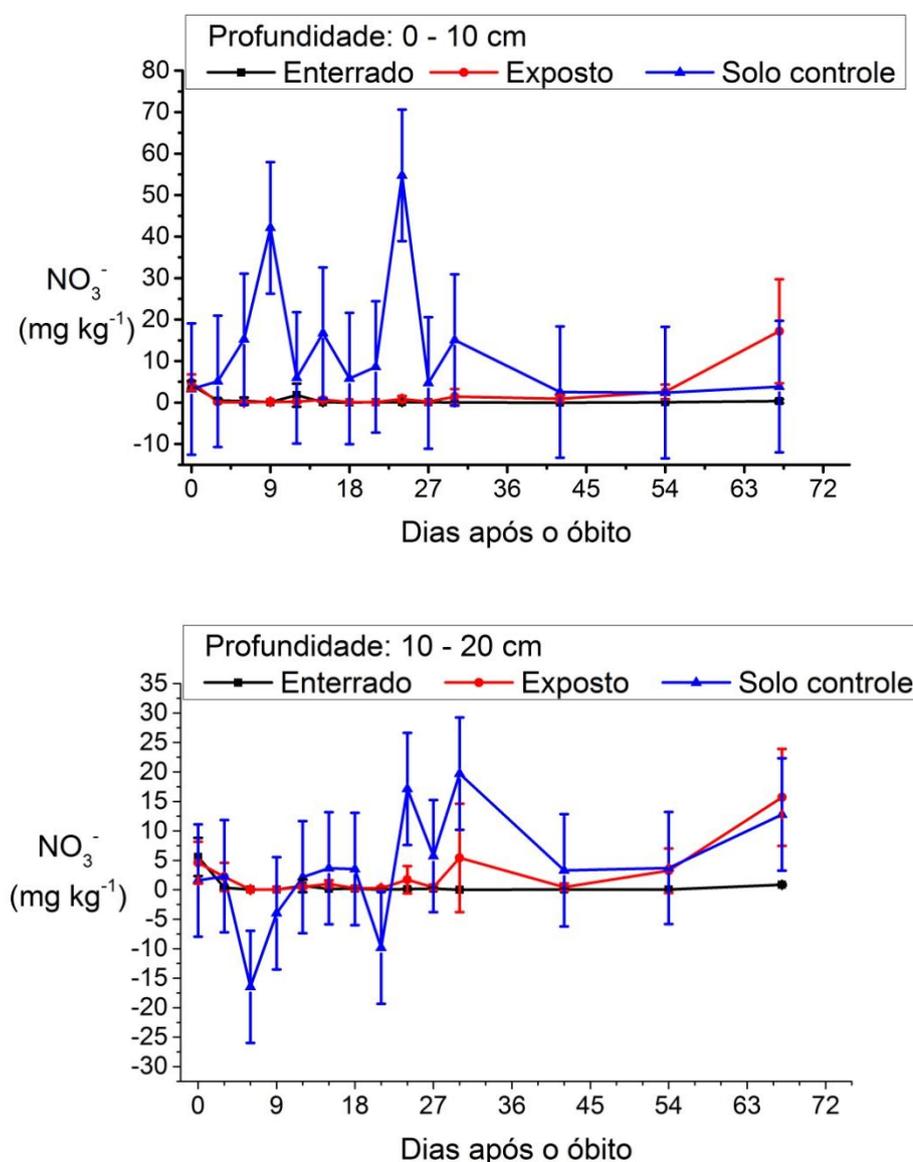


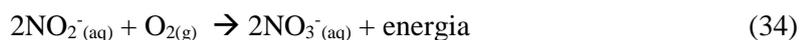
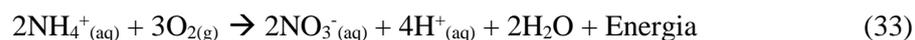
Figura 19. Concentrações de N-NO_3^- observadas no solo durante o experimento.

Na Tabela 5 é possível observar as concentrações iniciais e os menores valores obtidos em cada tipo de espécime durante o experimento. No decorrer da pesquisa o solo controle apresentou valores médios de $5,87 \pm 15,87$ mg N—NO₃⁻ kg⁻¹ (profundidade de 0 – 10 cm) e $3,42 \pm 9,52$ mg N—NO₃⁻ kg⁻¹ (profundidade de 10 – 20 cm), essa alta variação nas concentrações do solo controle se deve a fácil lixiviação que esse composto sofre em solos com alta capacidade de retenção de água e em locais com precipitação periódica, similar ao observado durante o período do experimento, onde ocorrem chuvas todos os dias.

Tabela 5. Concentrações mínimas encontradas no solo abaixo das carcaças durante o experimento.

Espécime	Profundidade (cm)	Concentração inicial (mg N—NO ₃ ⁻ kg ⁻¹)	Concentração mínima (mg N—NO ₃ ⁻ kg ⁻¹)	Dia após o óbito
Enterrado	0 – 10	$4,25 \pm 0,95$	$0,03 \pm 0,01$	30
	10 – 20	$5,58 \pm 3,24$	$0,02 \pm 0,05$	30
Exposto	0 – 10	$4,90 \pm 1,91$	$0,02 \pm 0,02$	06
	10 - 20	$4,61 \pm 3,56$	$0,04 \pm 0,18$	06

A nitrificação do amônio presente no solo ocorre através da ação de bactérias *Nitrosomonas* e *Nitrosococcus*, de acordo com as equações 33 e 34, cujo metabolismo é favorecido em ambientes aeróbicos com temperatura entre 10 e 30° C, e úmidos (TROEH e THOMPSON, 2007). Apesar das grandes concentrações de amônio formadas, o estabelecimento de anaeróbico, devido à presença das carcaças, reduz drasticamente o processo de nitrificação, sendo assim, a formação de nitrato durante o experimento, ocorreu somente após o restabelecimento de ambiente aeróbico, como foi possível observar a partir 54° dia após o óbito dos espécimes expostos. O mesmo comportamento não foi observado nos espécimes enterrados, pois estes não alcançaram o fim da fase de restos durante o experimento impossibilitando o início da recuperação do solo.



Apesar do nitrato não ser um dos compostos mais utilizados nos estudos de decomposição cadavérica, o comportamento observado nesta pesquisa foi similar ao encontrado por pesquisadores no Texas ao estudar a decomposição humana (TOMBERLIN e BENBOW, 2014).

NITROGÊNIO TOTAL

O nitrogênio total (N-total) do solo corresponde à soma dos teores das formas inorgânicas e orgânicas do nitrogênio, sendo as inorgânicas o amônio, nitrato e nitrito, enquanto que as orgânicas são constituídas majoritariamente por compostos que apresentam o grupo amina em sua estrutura molecular, tais como as proteínas, aminoácidos, aminoaçúcares e membranas celulares (TROEH e THOMPSON, 2007)

O corpo de mamíferos em decomposição é classificado como uma fonte rica de compostos orgânicos nitrogenados, como proteínas, aminas primárias (putrescina e cadaverina, por exemplo) e aminoácidos (HAGLUND e SORG, 1996; TIBBETT e CARTER, 2008; TOMBERLIN e BENBOW, 2014), além de que o processo de degradação de mamíferos por meio da atividade de artrópodes necrófagos, também ocasiona uma intensa produção de uréia, que é um dos dejetos expelidos durante a alimentação das larvas de moscas (TOMBERLIN e BENBOW, 2014).

Durante a decomposição das carcaças suínas utilizadas foram encontrados teores de nitrogênio total do solo com distribuição gaussiana, sendo a análise estatística realizada pelo teste ANOVA. No decorrer do experimento foi observado um aumento nos teores de N-total do solo abaixo das carcaças suínas quando comparado a concentração encontradas nos locais de deposição antes da inserção dos suínos (Figura

20), sendo os maiores teores observados de $0,129 \pm 0,023$ % (profundidade de 0 – 10 cm) e $0,128 \pm 0,03$ % (profundidade 10 – 20 cm), para os espécimes enterrados, e $0,138 \pm 0,019$ % (profundidade de 0 – 10 cm) e $0,0947 \pm 0,033$ % (profundidade 10 – 20 cm), para os espécimes expostos, nos dias 30, 9, 30 e 6 após o início do experimento, respectivamente.

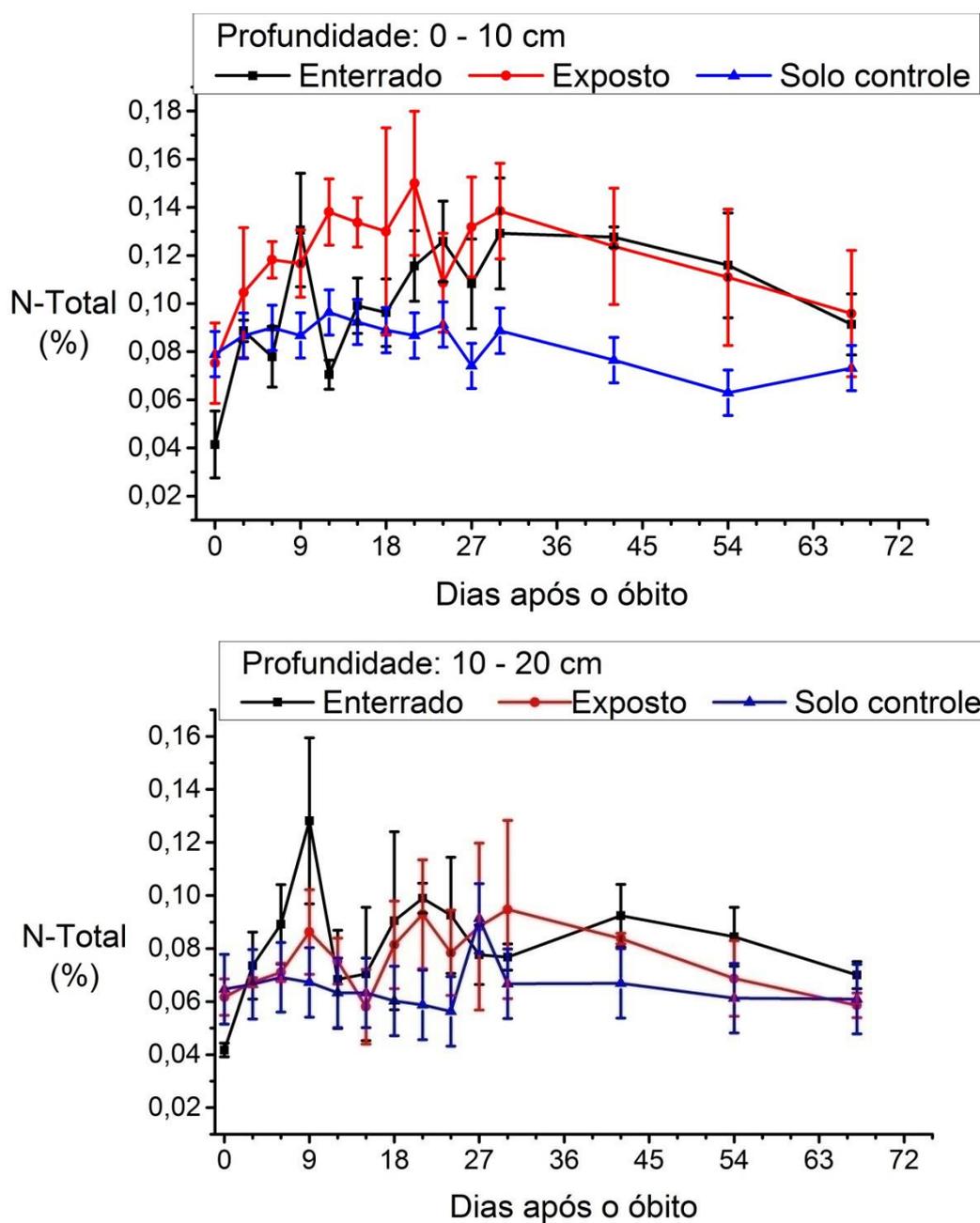


Figura 20. Concentrações de nitrogênio total no solo durante o experimento.

O solo controle manteve valores médios de $0,087 \pm 0,009$ % (profundidade de 0 – 10 cm) e $0,65 \pm 0,013$ % (profundidade 10 – 20 cm). Segundo o teste ANOVA, a um nível de confiança de 95 %, apenas os teores de N-total observados durante a decomposição dos espécimes expostos, na profundidade de 0 – 10 cm, foram significativamente diferentes dos obtidos nas análises do solo controle, entretanto, é notável o crescimento ocorrido, na mesma profundidade, no solo abaixo das carcaças enterradas onde a comparação com o solo controle não pode ser efetivamente utilizada, devido à discrepância de valores obtidos desde o dia zero (antes da inserção das carcaças). Esta discrepância se deve a heterogeneidade de amostras de solo, mesmo quando se trata de uma mesma região (TROEH e THOMPSON, 2007).

O comportamento observado condiz com dados obtidos em outros países (BENNINGER *et al.*, 2008; MEYER *et al.*, 2013), no qual as maiores modificações no N-total ocorrem durante a fase coliquativa nas camadas superficiais do solo, devido à forte fixação dos compostos nitrogenados orgânicos nas partículas de argila por atração eletrostática, que impede sua difusão a grandes profundidades do solo.

O decréscimo nos teores de N-total durante a fase de restos dos espécimes expostos indica que a microbiota do solo no local conseguiu metabolizar grande parte dos constituintes nitrogenados orgânicos liberados durante a fase coliquativa, promovendo a recuperação das características originais do solo.

CARBONO TOTAL E RAZÃO C/N

Os teores de carbono total obtidos durante a decomposição apresentaram uma leve variação, quando comparado as características da região antes da inserção das carcaças, para todos os pontos de coleta, conforme pode se observar na Figura 21. Apesar das carcaças de mamíferos constituírem uma rica fonte de carbono, devido à

presença de proteínas, ácidos nucleicos, lipídeos, açúcares e vários outros componentes do organismo de animais, não foram observados durante o experimento acréscimos significativos nos valores de carbono total do solo abaixo das carcaças.

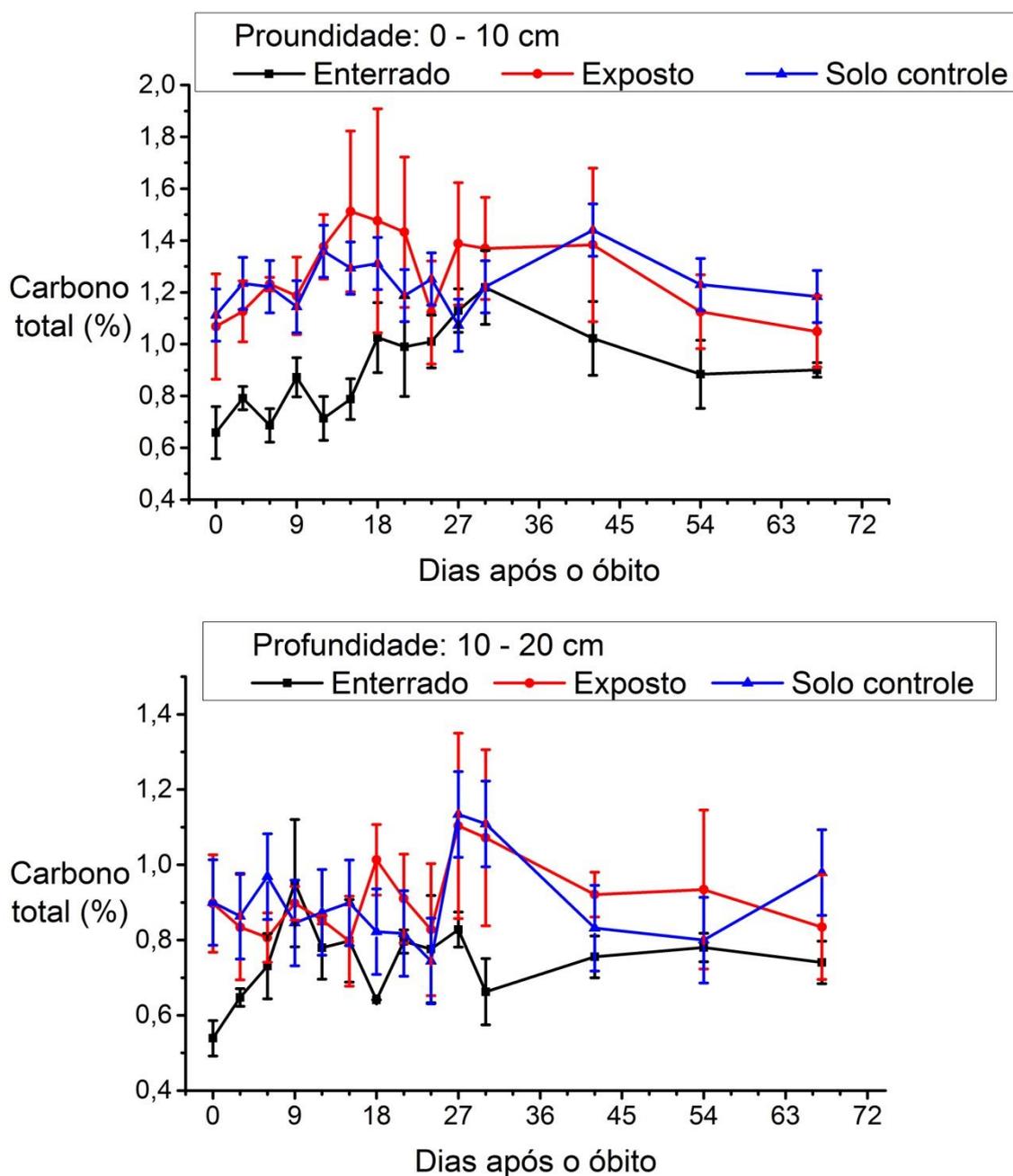


Figura 21. Concentrações de carbono total observadas no solo durante o experimento.

Na literatura existem divergências sobre a influência da decomposição no teor de carbono total do solo, onde parte dos estudos (HOPKINS *et al.*, 2000; TIBBETT e CARTER, 2008) observam aumentos significativos, enquanto em outros ocorrem

flutuações similares ao encontrado nesta pesquisa (BENNINGER *et al.*, 2008; MEYER *et al.*, 2013).

Estas divergências são atribuídas a dois fatores principais, que são a atividade microbiana no solo e as condições climáticas do local. Apesar de a biomassa microbiana constituir apenas de 2 a 3 % do carbono total do solo (PULROLNIK, 2009), esta pode ocasionar a manutenção observada nos níveis de carbono total, através de seu metabolismo, no qual são utilizados os compostos orgânicos liberados durante a decomposição (por exemplo, açúcares, aminoácidos e proteínas) para produção de energia, em um processo que tem como subprodutos gases e compostos voláteis, como CO₂, CH₄, alcoóis, fenóis e ácidos orgânicos de cadeia curta (FOCANT *et al.*, 2013; FORBES e PERRAULT, 2014). A permanência destes compostos voláteis ocorrerá preferencialmente em ambientes com baixos índices de temperatura e umidade do ar, no qual a volatilização é desfavorecida (TIBBETT e CARTER, 2008), um cenário contrário ao ocorrido no local do experimento.

Assim, solos com alta atividade microbiana e colônias fúngicas, como ocorrido nos espécimes enterrados, apresentaram menores flutuações nos teores de carbono total, sendo indicada a análise de compostos orgânicos voláteis ou carbono e nitrogênio da biomassa microbiana no monitoramento da influência ocasionada pela decomposição cadavérica na química do solo (DALVA *et al.*, 2015; FINLEY *et al.*, 2015; FOCANT *et al.*, 2013).

O comportamento da razão C/N do solo abaixo dos espécimes demonstrou um decréscimo durante todas as etapas de decomposição, conforme evidencia a Figura 22, sendo possível observar um novo crescimento no valor observado quando os espécimes atingiram a fase de restos, similar ao comportamento apresentado pelo nitrato. Os teores

iniciais, finais e mínimos encontrados no solo abaixo dos espécimes durante o experimento, assim como os valores médios obtidos no solo controle são demonstrados na Tabela 6.

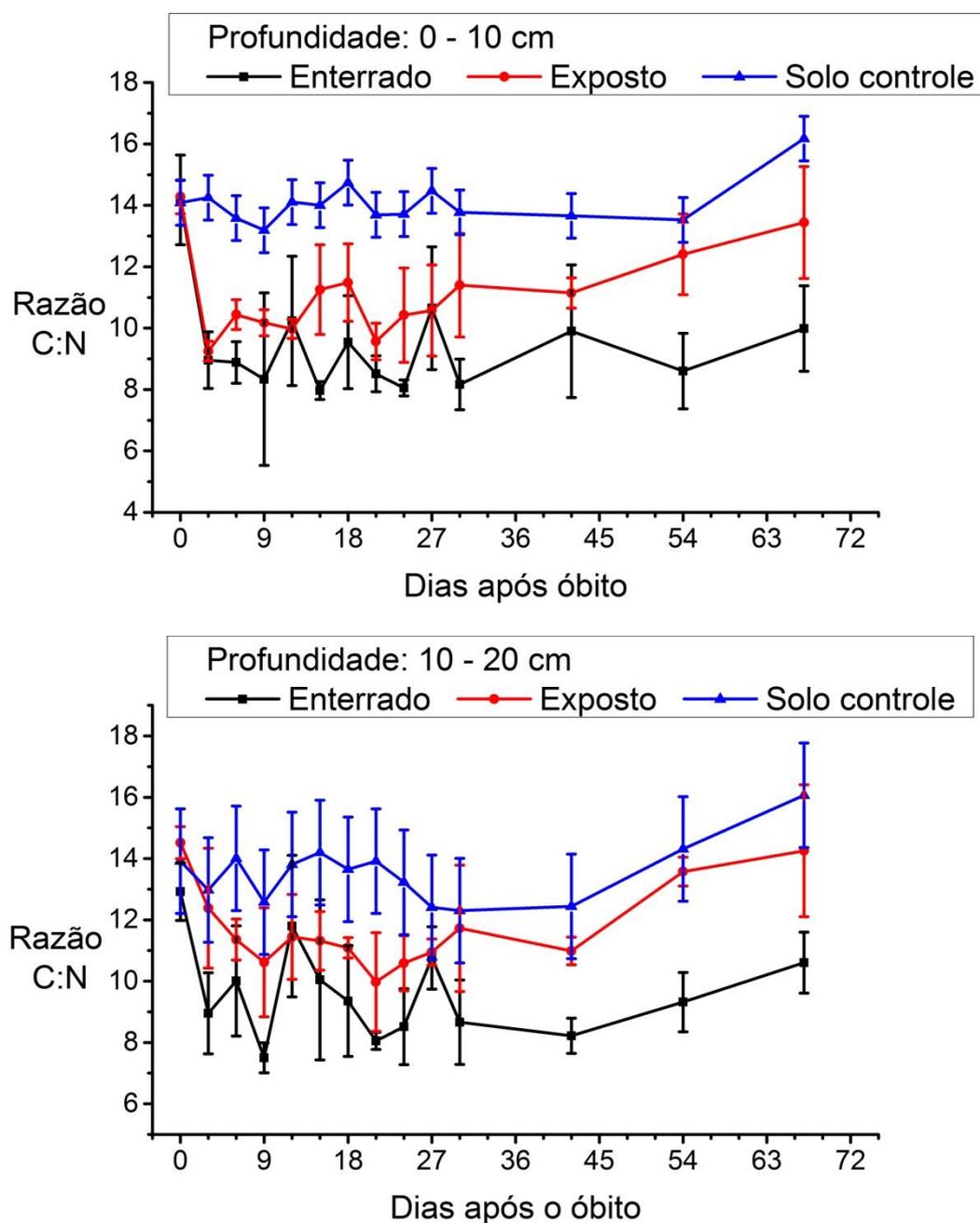


Figura 22. Valores de razão C/N observados no solo coletado durante o experimento.

Tabela 6. Valores iniciais, finais e mínimos encontrados no solo abaixo dos espécimes durante o experimento.

Espécimes	Profundidade (cm)	Razão C/N (dia zero)	Razão C/N (dia 67)	Mínima razão C/N encontrada (dia)
Enterrados	0 – 10	16,97 ± 4,95	9,99 ± 1,39	8,05 ± 0,26 (24)
	10 – 20	12,92 ± 0,94	10,60 ± 0,99	7,50 ± 0,49 (9)
Expostos	0 – 10	14,28 ± 0,55	13,44 ± 1,82	9,25 ± 0,32 (9)
	10 – 20	14,52 ± 0,52	14,26 ± 2,15	9,98 ± 1,61 (21)
Razão C/N média durante o experimento				
Solo controle	0 – 10	13,88 ± 0,73		
	10 – 20	13,72 ± 1,70		

O padrão de decréscimo observado condiz com os dados da literatura (AITKENHEAD-PETERSON *et al.*, 2012; BENNINGER *et al.*, 2008; TOMBERLIN e BENBOW, 2014) e esta relacionada à composição química dos suínos *Sus scrofa*, os quais apresentam em sua composição corpórea aproximadamente 26 g de nitrogênio kg⁻¹ e razão C/N de 7,7. Esta composição caracteriza um substrato rico em energia e nutrientes aos microorganismos decompositores, os quais necessitam de quantidades menores de nitrogênio em relação a quantidade de carbono (TROEH e THOMPSON, 2007).

Quando a razão C/N é pequena, entre 20 e 30, a quantidade de nitrogênio disponibilizada aos microorganismos é satisfatória para realização dos processos metabólicos sem que ocorra grande acúmulo de nitrogênio por imobilização nas partículas de solo, na forma de polímeros protéicos, sendo os compostos nitrogenados efetivamente mineralizados (TROEH e THOMPSON, 2007). De maneira geral, quanto menor a razão C/N, mais efetivamente a degradação dos compostos orgânicos por mineralização ocorre e há uma maior formação dos compostos inorgânicos de nitrogênio e carbono (amônio, nitrato, CO₂ e CH₄ principalmente), conforme foi observado durante esta pesquisa.

Os dados obtidos durante esta pesquisa foram analisados pelo teste de Mann-Whitney, no qual foi observado que, a um nível de confiança de 95%, o efeito dos espécimes em decomposição foi significativamente diferente das flutuações observadas no solo controle, confirmando a hipótese de que as alterações foram ocasionadas pelas carcaças em decomposição. Além disso, as carcaças expostas e enterradas demonstraram efeitos distintos na razão C/N, (Figura 22), que pode ser atribuído ao tipo de decomposição predominante em cada tipo de carcaça.

Quando o processo de decomposição ocorre preferencialmente por intermédio de fungos e bactérias, a razão C/N tende a valores próximos à 5 e 8, enquanto que a decomposição influenciada por artrópodes apresentará valores entre 20 e 10, devido as transformações que estes ocasionam ao consumir a matéria orgânica da carcaça, (TROEH e THOMPSON, 2007). Esse comportamento expressa a diferença na decomposição dos espécimes, conforme discutido na seção *Fases de decomposição cadavérica*.

CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA E RESPIRAÇÃO BASAL

A biomassa microbiana corresponde à fração viva da matéria orgânica do solo, sendo a principal responsável pela ciclagem de nutrientes devido a rápida resposta que esta tem perante modificações nas características químicas e bioquímicas do solo (TIBBETT e CARTER, 2008). Durante o experimento, a biomassa microbiana (BM) foi mensurada em função da quantidade de carbono que a compõe, onde foi possível observar um aumento da BM nos espécimes enterrados e expostos, principalmente no período de transição entre as fases enfisematosa e coliquativa, conforme mostra a Figura 23.

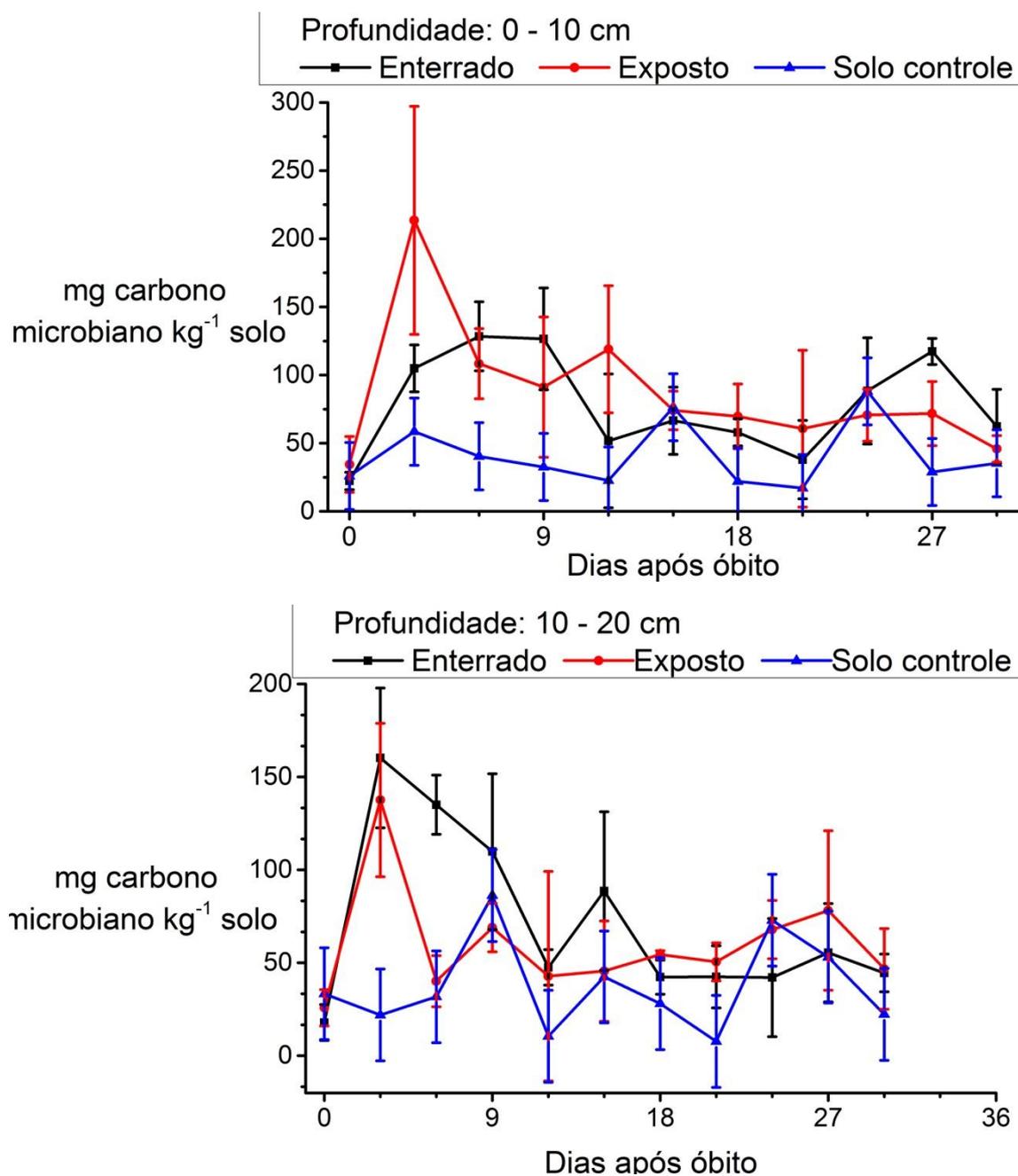


Figura 23. Variações no carbono da biomassa microbiana do solo durante o experimento.

Os valores observados durante o experimento foram analisados pelo teste de Mann-Whitney onde foi determinada uma diferença significativa, ao nível de confiança de 95 %, entre o solo abaixo dos espécimes e o solo controle. Entretanto, não houve distinção entre os efeitos causados na concentração de carbono da BM quando comparados os dois tipos de espécimes estudados.

O solo controle manteve um valor médio durante o experimento de $32,08 \pm 24,62$ (profundidade de 0-10 cm) e $31,73 \pm 24,73$ mg carbono microbiano kg^{-1} solo (profundidade de 10-20 cm), enquanto que os maiores valores observados abaixo dos espécimes enterrados foram de $126,54 \pm 37,31$ mg carbono microbiano kg^{-1} , solo na profundidade de 0 a 10 cm (9º dia) e $160,26 \pm 37,62$ mg carbono microbiano kg^{-1} solo, na profundidade de 10 a 20 cm (3º dia). Os valores máximos no solo abaixo dos espécimes expostos durante o experimento foram de $213,52 \pm 83,61$ mg carbono microbiano kg^{-1} , solo na profundidade de 0 a 10 cm e $137,64 \pm 41,28$ mg carbono microbiano kg^{-1} , solo na profundidade de 10 a 20 cm, no terceiro dia após o óbito.

O alto desvio padrão, observado em todos os dados relativos a este parâmetro, pode ser atribuído à sensibilidade da biomassa microbiana ao pH do solo, concentração de nutrientes, umidade e temperatura, tanto do ar quanto do solo (JENKINSON *et al.*, 2004). Conforme descrito anteriormente, os suínos correspondem a um substrato propício ao crescimento microbiano, devido à sua razão C/N e por esse motivo os maiores valores de BM foram encontrados ao fim da fase enfisematosa, quando ocorre maior extravasamento de matéria orgânica.

Geralmente a BM apresenta um maior crescimento em solos com pH alcalino (HASLAM e TIBBETT, 2009; TROEH e THOMPSON, 2007), o que levaria à hipótese de que a biomassa também apresentaria um aumento entre o 6º e 18º dia, contrariando os dados obtidos. O decaimento observado é descrito pela literatura (AITKENHEAD-PETERSON *et al.*, 2012; FINLEY *et al.*, 2015; TUMER *et al.*, 2013) como uma das fases do ciclo de vida da microbiota do solo, onde após o consumo inicial dos constituintes de uma carcaça em decomposição, o aumento na concentração dos subprodutos produzidos pelos microorganismos presentes no solo diminui o crescimento destes, por não corresponder a um substrato ideal de alimentação.

Os dados obtidos durante esta pesquisa são consistentes com os encontrados na literatura (CARTER *et al.*, 2010; FINLEY *et al.*, 2015; HOPKINS *et al.*, 2000; HOWARD *et al.*, 2010; SZELECZ *et al.*, 2014), apesar de que poucos trabalhos descrevem a fase de decaimento da microbiota.

A respiração basal, em termos de emissão de CO₂, apresentou um comportamento similar ao do carbono da biomassa, entretanto neste parâmetro o efeito das carcaças na atividade microbiológica do solo, pode ser observado com maior facilidade, uma vez que a emissão de CO₂ do solo controle manteve um comportamento mais estável durante o experimento. Isso pode ser atribuído à sensibilidade da técnica de determinação do carbono da biomassa microbiana pelo método de Walkley-Black, o qual é intensamente influenciado pela temperatura na qual a análise é realizada apresentando uma reprodutibilidade relativamente baixa para análise de solos submetidos a decomposição ativa (CARTER *et al.*, 2007; JENKINSON, David S. *et al.*, 2004).

Os resultados obtidos podem ser observados na Figura 24, que demonstra a diferença significativa entre os teores de CO₂ emitidos pelo solo abaixo dos espécimes expostos em comparação ao solo controle (teste de Mann-Whitney). Os espécimes enterrados demonstraram aumentos na concentração de CO₂ a partir do 15º dia de experimento, indicando o restabelecimento de condições aeróbicas nesta etapa da decomposição que poderia ser causada pelo decréscimo de água no solo ou pela aeração causada nas covas durante as coletas. Os valores máximos observados no solo abaixo dos espécimes enterrados ocorreram no 18º dia de experimento, sendo $3313,9 \pm 1635,48$ e $3892,31 \pm 1679,30$ mg C-CO₂ kg⁻¹ solo h⁻¹, nas profundidades de 0 – 10 e 10 – 20 cm, respectivamente.

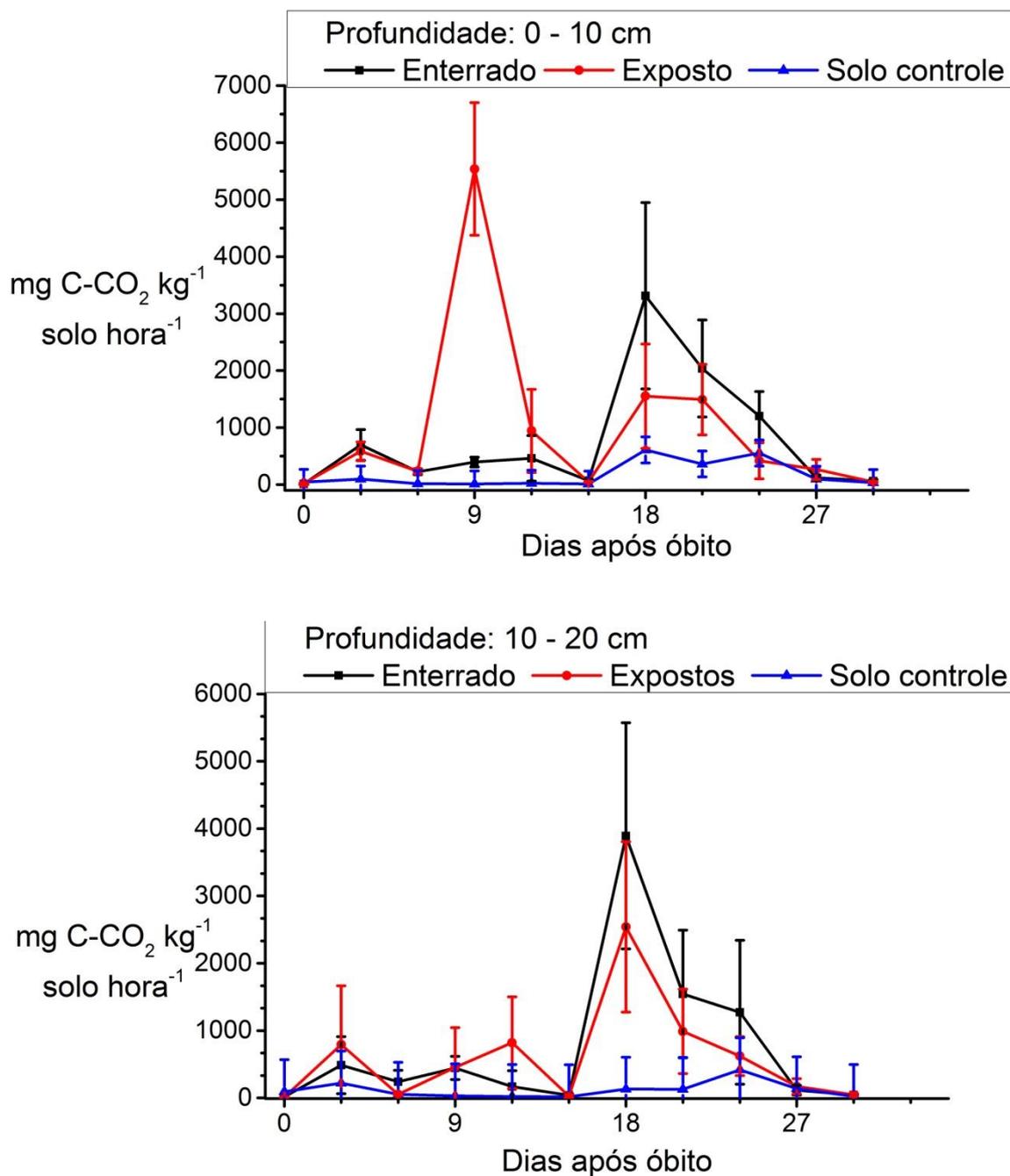
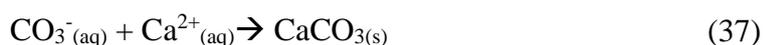


Figura 24. Taxa de respiração basal do solo no decorrer do experimento.

Outro fator que poderia explicar os baixos valores obtidos de CO₂ nas carcaças enterradas seria a possível formação de carbonato de cálcio pela reação entre o CO₂ e a água em meio alcalino (LUCHESE *et al.*, 2001), conforme mostra as equações abaixo.





Os dados obtidos nos espécimes expostos condizem com o encontrado na literatura (CARTER *et al.*, 2010; HASLAM e TIBBETT, 2009; HOPKINS *et al.*, 2000; TUMER *et al.*, 2013), apresentando valores máximos de $5538,16 \pm 1162,41$ mg C-CO₂ kg⁻¹ solo hora⁻¹ na profundidade de 0 a 10 cm (9º dia) e $2539,76 \pm 1266,75$ mg C-CO₂ kg⁻¹ solo hora⁻¹ na profundidade de 10 a 20 cm (18º dia) durante a fase coliquativa. Segundo Dalva *et al.* (2015), os picos máximos de emissão de CO₂ nas duas profundidades deveriam ocorrer simultaneamente, mesmo em solos de baixa aeração como o encontrado na reserva Adolpho Ducke, entretanto acredita-se que o comportamento observado nos suínos expostos na segunda profundidade estudada, se deva a formação de carbonato de cálcio.

Assim, avaliando os resultados obtidos no que diz respeito ao carbono da biomassa microbiana e respiração basal, se torna notável o crescimento da microbiota do solo abaixo das carcaças em decomposição durante a fase coliquativa. Vale ressaltar que apesar de estes dois parâmetros apresentarem um padrão de variação distinto, a conclusão do crescimento microbiótico ainda é válida, pois enquanto o carbono da biomassa quantifica todos os tipos de microorganismos presentes, a respiração basal se refere apenas aos aeróbicos (JENKINSON *et al.*, 2004).

ALUMÍNIO TROCÁVEL

Poucos dados são disponibilizados na literatura a cerca das variações de cátions presentes no solo durante a decomposição cadavérica (TOMBERLIN e BENBOW, 2014; VASS *et al.*, 1992), sendo que não conseguimos encontrar dados, a cerca das

alterações nas concentrações de alumínio. Durante o experimento foi observado um rápido decaimento nos teores de alumínio do solo abaixo das carcaças em decomposição, conforme se observa na Figura 25.

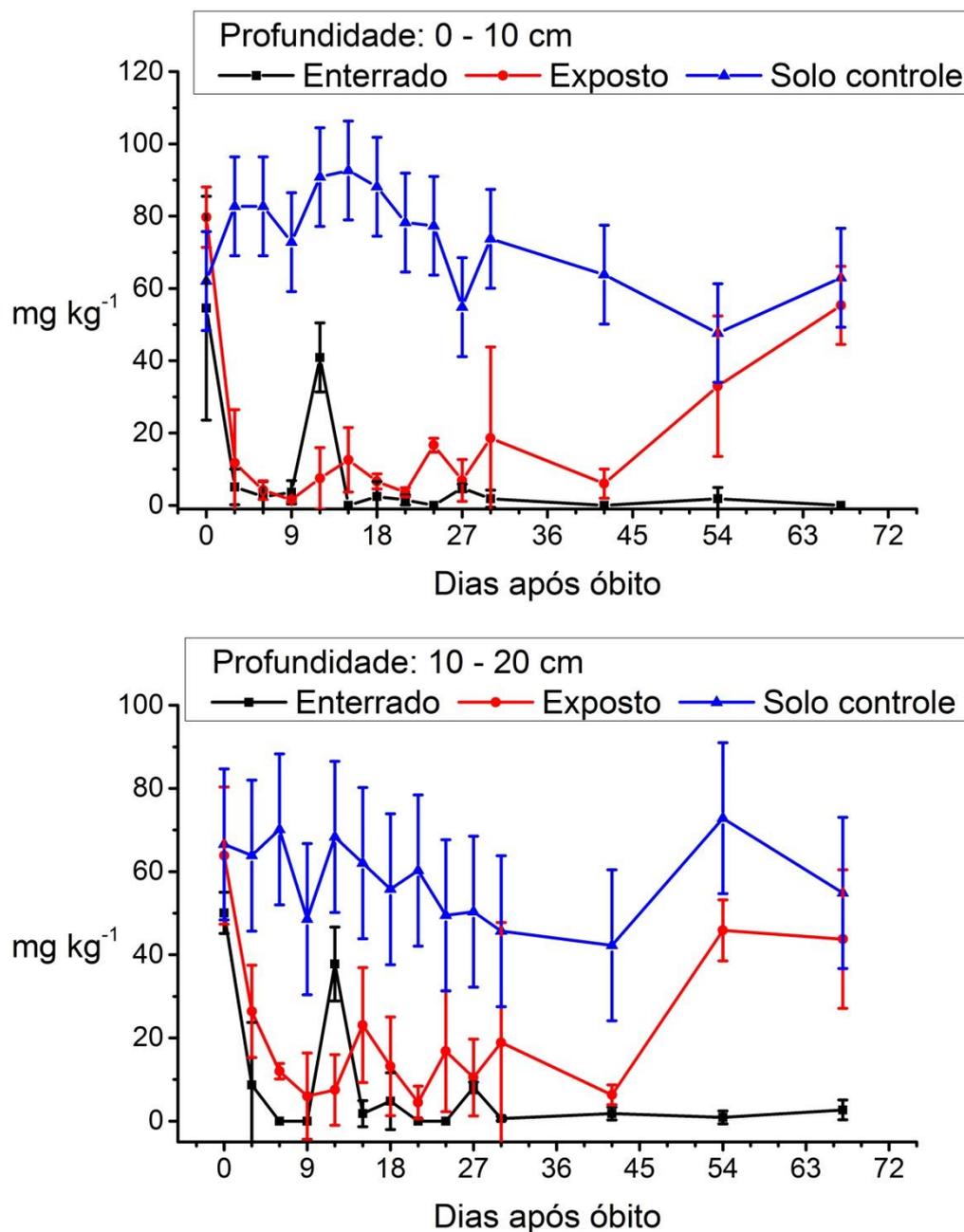
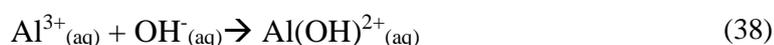


Figura 25. Concentrações de alumínio (Al^{3+}) no solo durante o experimento.

O solo controle manteve concentrações médias de $75,54 \pm 13,69$ mg kg⁻¹ na profundidade de 0 a 10 cm e $58,00 \pm 18,17$ mg kg⁻¹ na profundidade de 10 a 20 cm. O

comportamento observado no alumínio abaixo das carcaças seguiu um padrão similar ao do íon nitrato, sendo também possível observar o aumento das concentrações de alumínio ao fim da fase de restos dos suínos expostos.

Esse fenômeno se deve a complexação do alumínio com ácidos orgânicos produzidos durante a decomposição cadavérica tais como ácido acético e os ácidos propanóico, butanóico e pentanóico (LUCHESE *et al.*, 2001; TROEH e THOMPSON, 2007). Além disso, em meio alcalino o alumínio sofre precipitação formando hidróxido de alumínio o qual apresenta K_{ps} de $1,6 \times 10^{-34}$, de acordo com as equações abaixo.



De acordo com o teste de Mann-Whitney ao nível de confiança de 95% se pode afirmar que as alterações nas concentrações de alumínio foram causadas pela presença das carcaças suínas no solo.

CÁLCIO, MAGNÉSIO, SÓDIO E POTÁSSIO

Os valores de cálcio e magnésio mantiveram uma distribuição normal durante o experimento, sendo as análises comparativas com o solo controle realizadas pelo teste ANOVA, ao nível de confiança de 95%. O solo controle manteve valores estáveis para ambos os elementos no decorrer da pesquisa, conforme se pode observar na Tabela 7, indicando que alterações nos solos coletados abaixo dos suínos tenha sido ocasionada pela presença destes no local.

Tabela 7. Concentrações média de cálcio e magnésio no solo controle.

	Profundidade (cm)	Ca ²⁺ (mg kg ⁻¹)	Mg ²⁺ (mg kg ⁻¹)
Solo controle	0-10	6,4 ± 2,2	7,6 ± 1,7
	10-20	5,5 ± 1,4	5,9 ± 1,6

O solo abaixo dos espécimes expostos apresentou um aumento significativo a partir do 9º dia após o óbito dos suínos, em ambas profundidades estudadas, tanto para o cálcio quanto para o magnésio. Os valores máximos obtidos para o cálcio nestes espécimes foram de $12,30 \pm 7,00 \text{ mg kg}^{-1}$ na profundidade de 10 a 20 cm (42º dia) e $20,13 \pm 8,33 \text{ mg kg}^{-1}$ na profundidade de 0 a 10 cm (67º dia). Enquanto que para magnésio os maiores valores obtidos foram de $11,28 \pm 5,03 \text{ mg kg}^{-1}$ na profundidade de 10 a 20 cm (27º dia) e $18,31 \pm 3,34 \text{ mg kg}^{-1}$ na profundidade de 0 a 10 cm (67º dia). Os valores encontrados para cálcio e magnésio no solo abaixo dos espécimes enterrados não demonstraram variação significativa, quando comparado ao solo distante. Os dados referentes as concentrações de cálcio e magnésio abaixo das carcaças expostas pode ser observada na Figura 26.

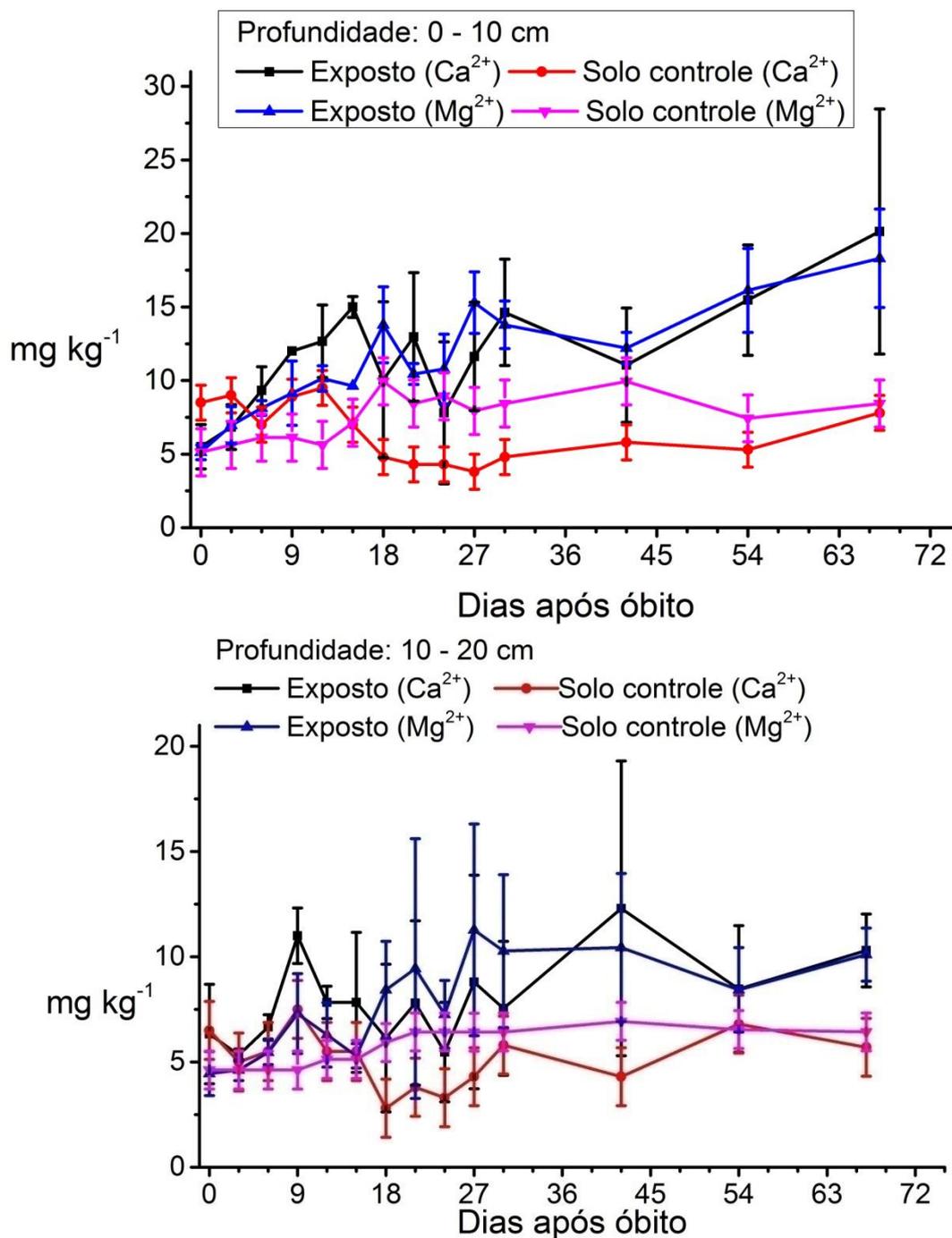


Figura 26. Concentrações de magnésio (Mg^{2+}) e cálcio (Ca^{2+}) no solo abaixo das carcaças expostas durante o experimento.

Com relação às concentrações de potássio e sódio, o solo apresentou uma distribuição normal durante o experimento, sendo utilizado o teste ANOVA para comparar o solo controle com o solo abaixo dos espécimes. Ambos os tipos de espécimes causaram efeitos similares no solo, caracterizado por um aumento nas concentrações de ambos os elementos durante todas as etapas de decomposição,

conforme pode ser observado nas Figuras 27 e 28. Os valores médios do solo controle e os valores máximos obtidos no solo abaixo dos espécimes são evidenciados na Tabela 8.

Tabela 8. Valores máximos observados no solo abaixo das carcaças enterradas e expostas nos níveis de K⁺ e Na⁺ durante o experimento e valores médios encontrados para estes elemento no solo controle.

Ponto de coleta	Profundidade (cm)	Concentração máxima de K ⁺ no solo (mg kg ⁻¹) e dia em que foi observado.	Concentração máxima de Na ⁺ no solo (mg kg ⁻¹) e dia em que foi observado.
Enterrados	0 – 10	209,44 ± 106,41 (9°)	41,07 ± 4,03 (42°)
	10 – 20	181,38 ± 98,39 (9°)	48,82 ± 16,93 (9°)
Expostos	0 – 10	159,53 ± 21,58 (21°)	47,49 ± 8,01 (21°)
	10 - 20	70,80 ± 33,94 (30°)	25,68 ± 15,60 (21°)
		Valor médio obtido de K ⁺ (mg kg ⁻¹) durante o experimento	Valor médio obtido de Na ⁺ (mg kg ⁻¹) durante o experimento
Solo controle	0 – 10	14,99 ± 2,91	5,21 ± 1,61
	10 - 20	10,69 ± 3,93	3,33 ± 2,14

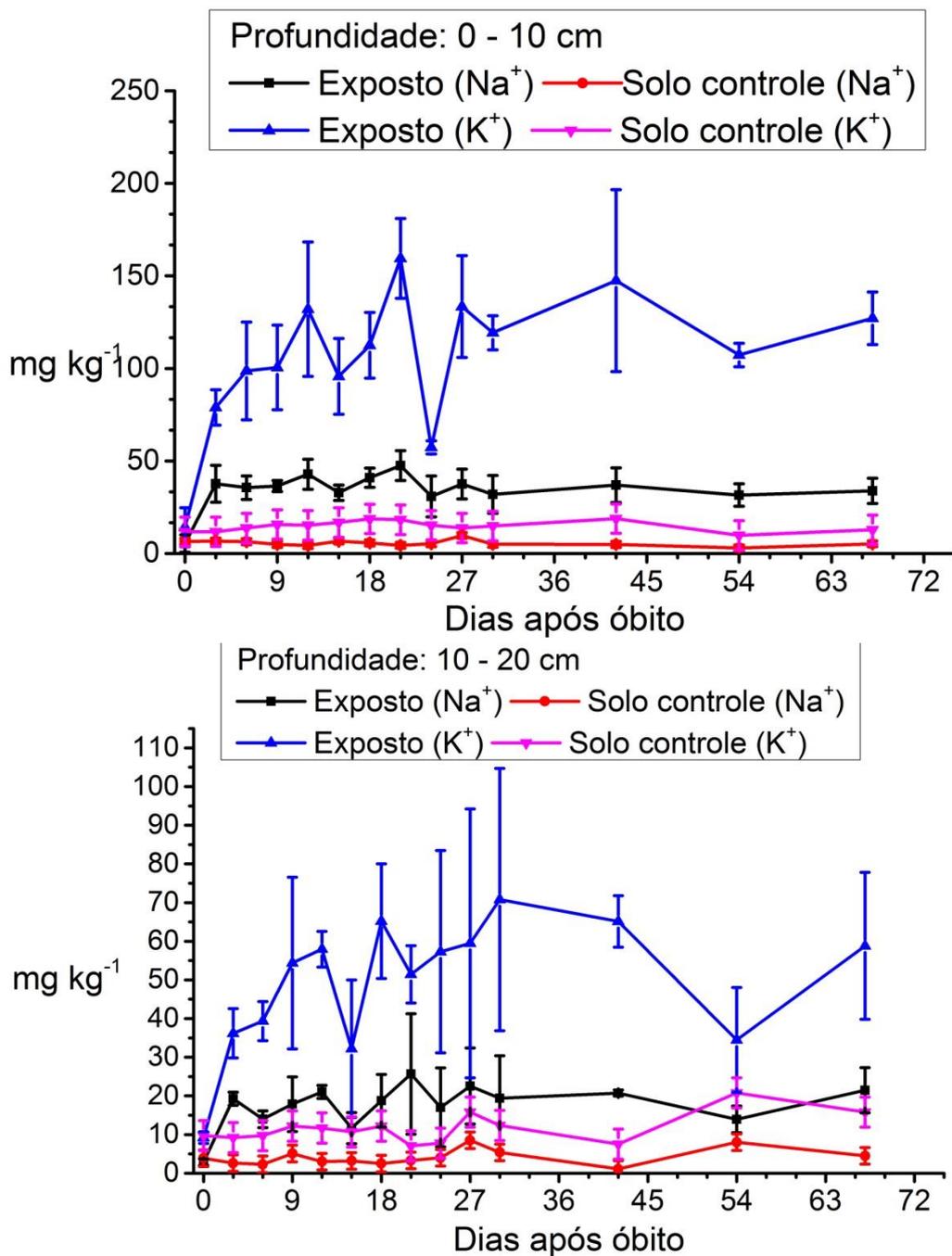


Figura 27. Concentrações de sódio (Na⁺) e potássio (K⁺) no solo abaixo das carcaças expostas durante o experimento.

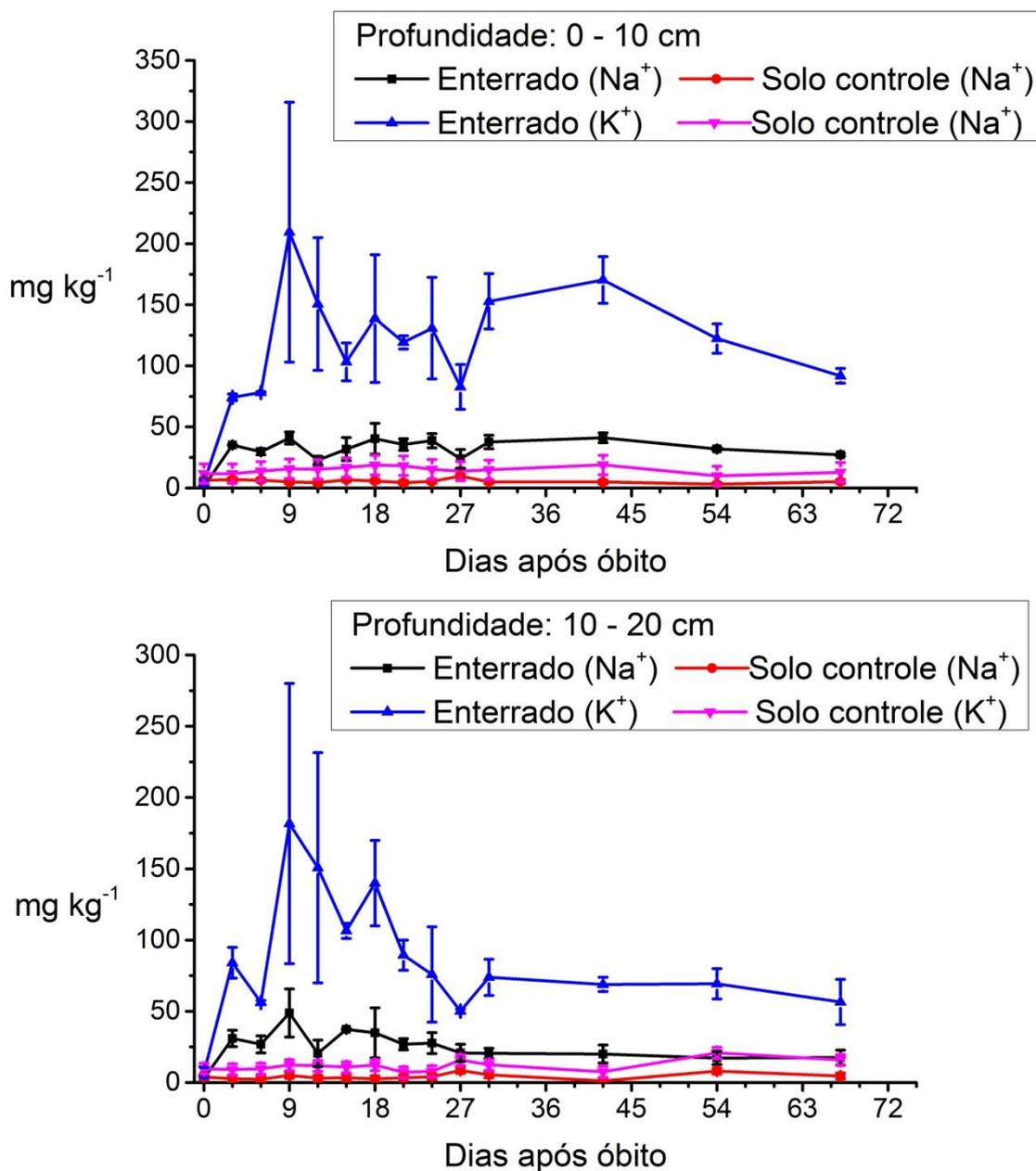


Figura 28. Concentrações de sódio (Na⁺) e potássio (K⁺) no solo abaixo das carcaças enterradas durante o experimento.

O cálcio, magnésio, sódio e potássio são elementos facilmente assimilados em partículas de solo ou matéria orgânica que possuam sítios de troca iônica de cargas negativas, com isso, segundo dados da literatura (FORBES e DENT *et al.*, 2005; FORBES e STUART *et al.*, 2005; TROEH e THOMPSON, 2007), estes quatro elementos apresentam um equilíbrio dinâmico durante a decomposição cadavérica na

interface solo-cadáver. Quando os ácidos orgânicos liberados pela degradação dos tecidos moles entram em contato com os íons de sódio e potássio formam sais solúveis os quais aumentariam a concentração destes íons no solo, entretanto, na presença de cálcio e magnésio ocorre a formação de sais insolúveis, diminuindo a concentração destes dois íons no solo (FORBES e DENT *et al.*, 2005; HAGLUND e SORG, 1996).

A formação de sais insolúveis junto à matéria orgânica em decomposição é favorecida pelo tamanho relativamente menor e cargas maiores dos íons de cálcio e magnésio que permitem uma absorção preferencial e mais efetiva nos sítios de carga negativa da matéria orgânica (LUCHESE *et al.*, 2001; TROEH e THOMPSON, 2007).

Como a interface solo-cadáver foi maior nos espécimes enterrados e a velocidade de decomposição destes foi lenta permitindo o acúmulo de compostos orgânicos no solo, não ocorreu um aumento nas concentrações de cálcio e magnésio durante o experimento, situação inversa ao que ocorreu com os espécimes expostos.

FÓSFORO DISPONÍVEL

As concentrações de fósforo disponível encontradas nos solos coletados abaixo das carcaças em decomposição apresentaram um comportamento não pertence a uma distribuição normal, sendo utilizado o teste de Mann-Whitney para averiguar similaridades com o solo controle.

Durante o experimento o solo controle manteve concentração média de $1,62 \pm 0,21 \text{ mg kg}^{-1}$, na profundidade de 0 – 10 cm, e $0,79 \pm 0,11 \text{ mg kg}^{-1}$ na profundidade de 10 – 20 cm, indicando que as variações observadas no solo abaixo dos suínos pode ser atribuída a decomposição destes.

Em ambos os tipos de espécimes em decomposição estudados foi observado um aumento significativo nas concentrações de fósforo disponível, nas duas profundidades estudadas, conforme mostra a Figura 29, entretanto as variações observadas, tanto nos espécimes enterrados como nos expostos, apresenta divergências quando comparado ao descrito na literatura, onde o fósforo apresenta um comportamento senoidal (BENNINGER *et al.*, 2008; TIBBETT e CARTER, 2008; TUMER *et al.*, 2013; VAN BELLE *et al.*, 2009; VASS *et al.*, 1992).

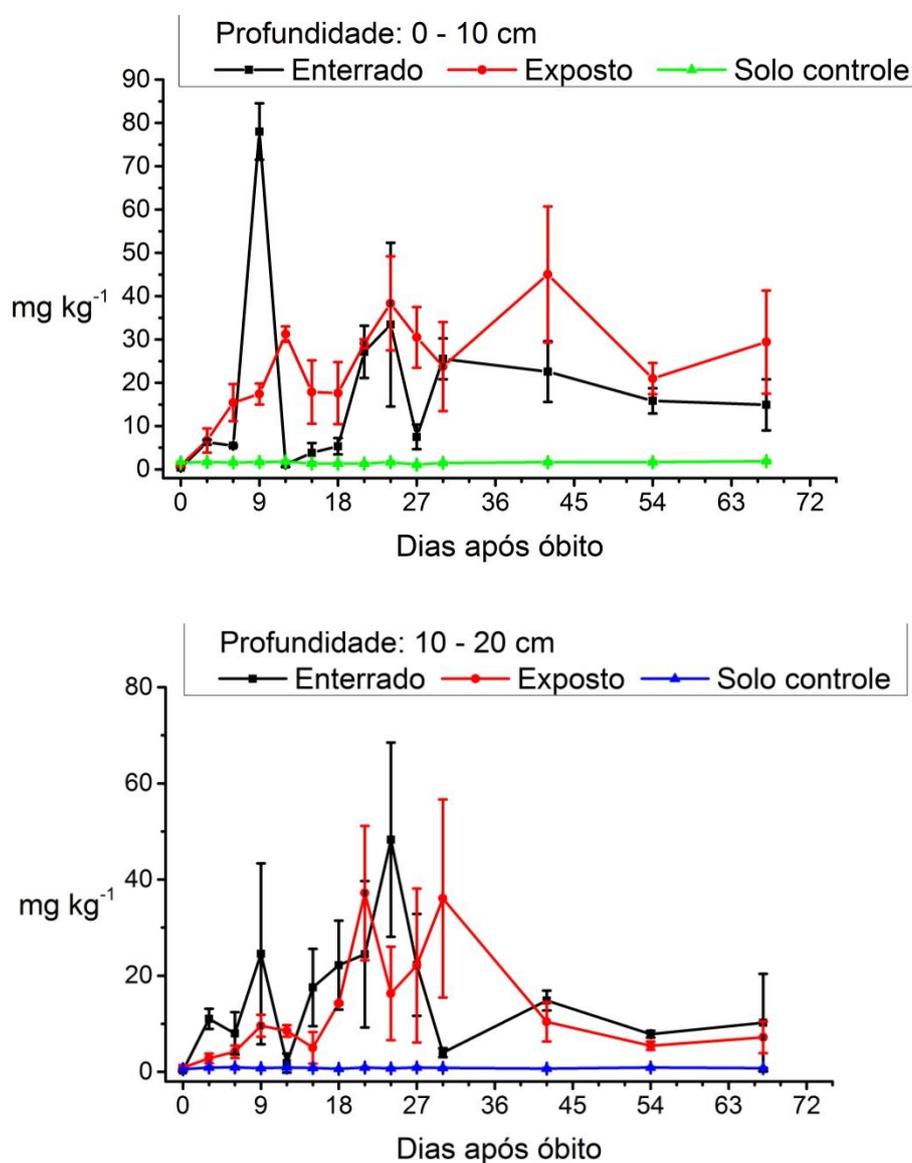


Figura 29. Concentrações de fósforo disponível no solo durante o experimento.

As pesquisas já realizadas (AITKENHEAD-PETERSON *et al.*, 2012; BENNINGER *et al.*, 2008; FINLEY *et al.*, 2015; VAN BELLE *et al.*, 2009; VASS *et al.*, 1992) trabalharam com intervalos de tempo maiores que os utilizados nesta pesquisa e devido às condições climáticas a decomposição ocorre de forma lenta, permitindo maior distinção entre cada fase de decomposição. O padrão observado na literatura (TIBBETT e CARTER, 2008; VASS *et al.*, 1992) com relação às concentrações de fósforo no solo mostram que este sofre dois picos máximos de concentração referentes a degradação de proteínas, ácidos nucleicos, coenzima e fosfolipídios no início da decomposição cadavérica e posteriormente a degradação de ossos, constituídos por 30 % de fósforo ao fim da fase de restos .

As variações observadas na Figura 29, demonstram apenas um pico máximo de concentração para o fósforo abaixo de todos os espécimes. No caso dos espécimes enterrados a maior concentração de fósforo é observada na transição das fases enfisematosa e coliquativa, não sendo possível observar o efeito da degradação dos ossos no solo. Isso se deve ao fato de que não foi possível acompanhar a decomposição dos espécimes enterrados durante toda a fase de restos.

No caso dos espécimes expostos não foi possível discernir os dois momentos de maior liberação de fósforo durante a decomposição devido a proximidade entre cada fase da decomposição cadavérica. As maiores concentrações observadas nos espécimes expostos e enterrados pode ser observada na Tabela 9.

Tabela 9. Concentrações máximas de fósforo disponível encontrado no solo durante o experimento.

	Profundidade (cm)	Concentração máxima de fósforo disponível (mg kg ⁻¹)	Dia
Espécimes enterrados	0 – 10	78,1 ± 6,51	9°
	10 – 20	75,11 ± 52,68	9°
Espécimes expostos	0 – 10	45,01 ± 15,71	42°
	10 - 20	37,20 ± 13,97	21°

Apesar do fósforo corresponder ao segundo nutriente mais absorvido por plantas a sua mobilidade no solo à distâncias maiores que 10 mm ocorre de forma extremamente lenta possibilitando o acúmulo deste no solo por longos períodos de tempo (TROEH e THOMPSON, 2007).

COBRE, FERRO, ZINCO E MANGANÊS

O cobre, ferro, zinco e manganês são conhecidos como micronutriente devido o fato de que, plantas e animais necessitam destes elementos em baixas concentrações para manter níveis saudáveis aos seus organismos (TROEH e THOMPSON, 2007). No corpo humano de um homem de 70 kg, por exemplo, é possível encontrar apenas 0,1 g de Cu^{2+} , 4,2 g de Fe^{3+} , 2,3 g de Zn^{2+} e 0,01 pg de Mn^{2+} (MARTINI *et al.*, 2009).

Durante o experimento as concentrações de cobre e manganês não demonstraram comportamento distinto em relação ao solo controle (teste ANOVA à 95% de nível de confiança), indicando que as carcaças não causaram efeitos significativos na presença destes íons no solo.

As variações nas concentrações de Fe^{3+} também pelo teste ANOVA, onde foi observado que os solos coletados abaixo das carcaças em decomposição mantiveram as mesmas concentrações que o solo distante, apresentando um aumento crescente após o início do experimento. Este fato indica que outro fator, que não a decomposição cadavérica, influenciou as concentrações deste elemento no solo, como por exemplo a oxidação das jaulas de ferro utilizadas para impedir a ação de animais necrófagos de médio porte.

As concentrações de zinco encontradas no solo abaixo das carcaças suínas apresentou um comportamento distinto quando comparado as valores obtidos no solo controle (teste de Mann-Whitney), conforme pode ser observado na Figura 30,

indicando que as variações nas concentrações de zinco foram ocasionadas pelas carcaças. Este comportamento diferente ao que foi observado nos demais micronutrientes pode ser explicado pela dieta rica em zinco comumente utilizada por criadores de suínos para estimular o crescimento, diminuir a mortalidade após amamentação e no combate de bactérias no trato intestinal (CORRÊA *et al.*, 2011; PINHEIRO, 2004). Com isso, o corpo deste mamíferos, quando criado em cativeiro, é considerado como uma rica fonte de zinco, sendo seus dejetos geralmente empregado como adubo natural por ser possível encontrar $78,80 \text{ g m}^{-3}$ de zinco (CORRÊA *et al.*, 2011; ERNANI *et al.*, 2001). Como a dieta humana não é rica em zinco, as variações observadas não poderiam ser utilizadas na criação de um modelo de previsão da decomposição humana (MARTINI *et al.*, 2009).

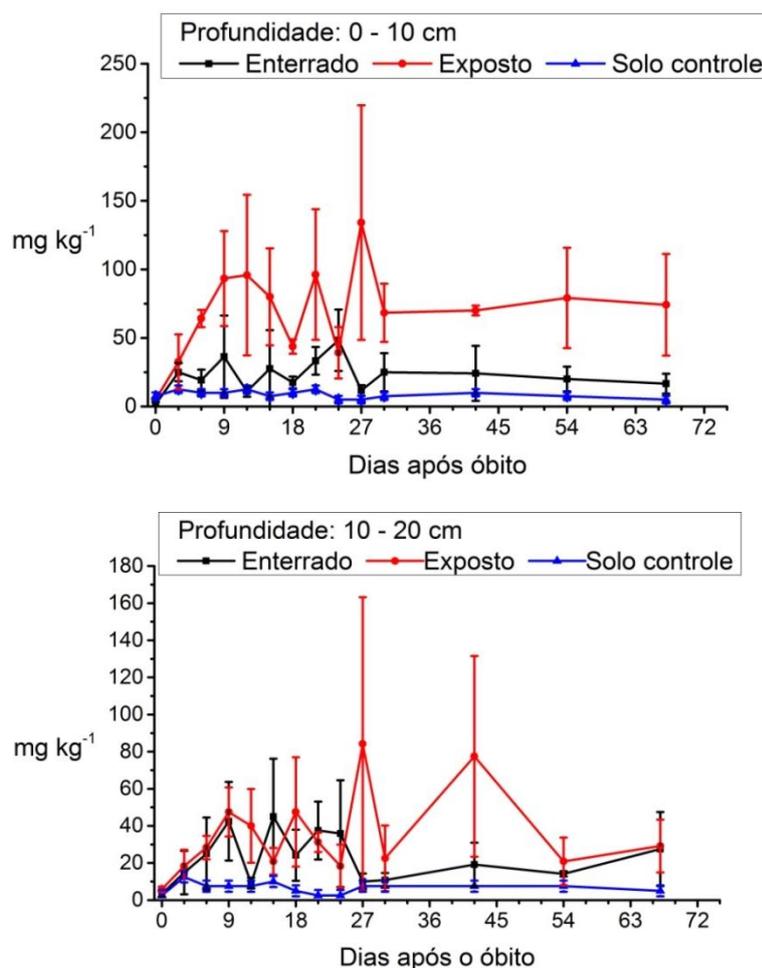


Figura 30. Concentrações de zinco (Zn^{2+}) no solo durante o experimento.

DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE PREVISÃO DO IPM

Um modelo de previsão consiste de um processo analítico no qual se estima estatisticamente o comportamento futuro de um determinado fenômeno ou amostra a partir do conhecimento prévio de suas características (TOMBERLIN e BENBOW, 2014). Com um modelo de previsão também é possível determinar a evolução de um fenômeno, o que faz com que as ferramentas de determinação do IPM correspondam a modelos de previsão da evolução da decomposição cadavérica (COCKLE e BELL, 2015).

A criação de modelos de previsão requer uma análise detalhada dos dados experimentais que incluem a análise da regressão linear dos dados, estabelecimento de funções que descrevam esses dados, avaliação de padrões e reconhecimento de similaridades (COCKLE e BELL, 2015; MEYER *et al.*, 2013; TOMBERLIN e BENBOW, 2014). Nesta pesquisa até o presente momento foram realizados o reconhecimento dos padrões, conforme discutido anteriormente, e a similaridade entre as amostras provenientes de três tratamentos diferentes, (solo sem a influência da decomposição cadavérica e o solos de carcaças enterradas e expostas).

Tendo em vista que o solo corresponde a uma matriz com equilíbrios dinâmicos entre cada constituinte (LUCHESE *et al.*, 2001), a análise de similaridade entre as amostras foi realizada através da análise dos componentes principais (PCA) e análise de agrupamentos hierárquica (HCA). Para realizar a análise de PCA e HCA foram escolhidos os parâmetros capazes de distinguir o solo controle do solo abaixo dos suínos que foram: alumínio, cálcio, magnésio, potássio, sódio, razão C/N, carbono e nitrogênio total, pH em água e KCl, amônio e nitrato.

Durante o PCA, realizado por correlação das amostras, foram extraídos 6 componentes principais com um total de variância acumulada de 94,92 %, a composição de cada componente principal pode ser observada na Tabela 10. O gráfico de scores e loading plotado com as duas primeiras componentes principais extraídas pode ser observado na Figura 31 onde é possível visualizar 3 grupos distintos de amostras similares. Os grupos são: o primeiro grupo em cor vermelha contendo amostras de solo controle em ambas as profundidades durante todo o experimento, e solo proveniente do local de posição das carcaças antes da deposição dessas; segundo grupo, em cor azul, contendo as amostras coletadas abaixo dos espécimes expostos em ambas as profundidades a partir do dia 15° de decomposição; e o terceiro grupo, em verde, contendo todas as amostras coletadas abaixo dos espécimes enterrados e as amostras coletadas abaixo dos espécimes expostos entre a fase fresca e coliquativa.

Tabela 10. Composição dos componentes principais extraídos.

	Componente principal 1	Componente principal 2	Componente principal 3	Componente principal 4	Componente principal 5	Componente principal 6
Al	-0,35049	0,17657	0,08845	0,25607	0,24261	0,17736
Ca	0,14479	0,43776	-0,33106	-0,33492	-0,279	0,48626
Mg	0,11087	0,49327	-0,16627	-0,13624	-0,13771	-0,77578
K	0,36518	0,10099	-0,06854	-0,19846	0,28407	0,17139
Na	0,36692	0,07184	-0,07309	-0,19389	0,09821	0,17629
CN	-0,34683	0,20238	-0,19231	0,06792	0,07524	-0,02099
C total	0,04866	0,53831	0,12519	0,46325	0,07976	0,07281
N total	0,30253	0,2957	0,25554	0,35835	0,07416	0,13236
pH (H ₂ O)	0,36984	-0,13202	0,12037	0,01183	-0,22943	-0,13273
pH (KCl)	0,30899	-0,17602	0,15672	0,40347	-0,47813	0,02297
NH ₄	0,32544	-0,09093	0,10005	-0,03279	0,66606	-0,16621
NO ₃ -	-0,15351	0,20895	0,82333	-0,46377	-0,10765	0,02789

Os três grupos formados na análise de PCA indicam que, ao se desconsiderar o tempo de decomposição, os espécimes suínos utilizados não apresentaram grande variabilidade no que tange a decomposição cadavérica, confirmando o que se consta na

literatura sobre a sua utilização em estudos sobre decomposição cadavérica (STOKES *et al.*, 2013). A partir do gráfico de scores e loading, Figura 31, é possível observar que os parâmetros que causam maior distinção entre o solo controle e aquele abaixo dos espécimes são o alumínio, razão C/N e o nitrato, enquanto que a distinção entre a fase coliquativa e a fase de restos se deve principalmente aos valores amônio, sódio, potássio, pH em água e KCl.

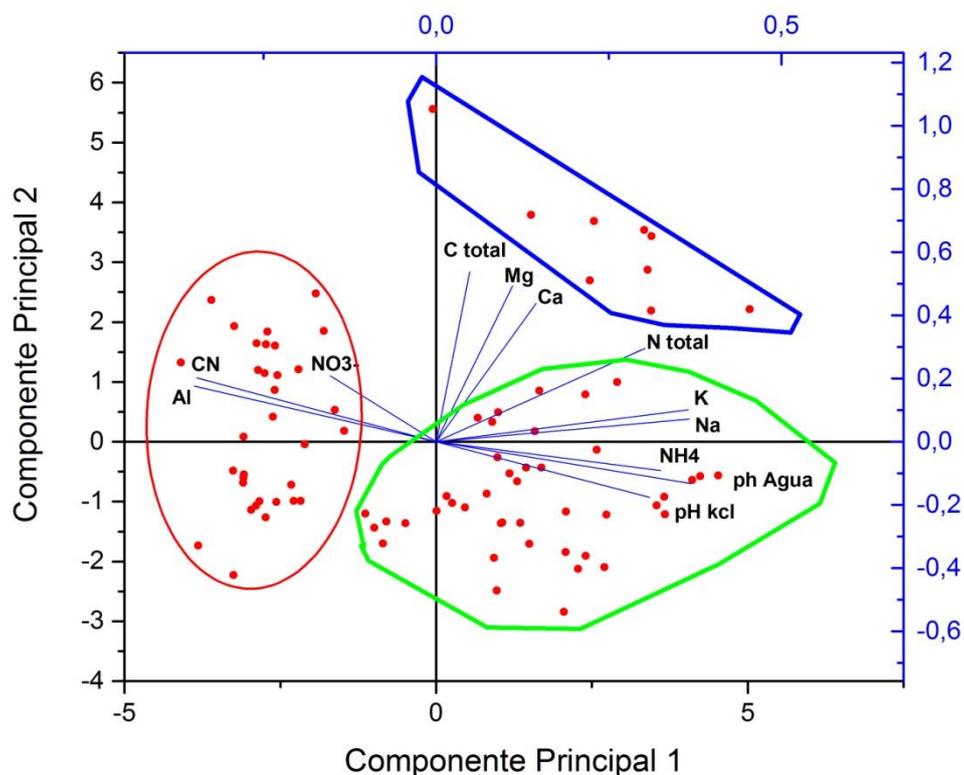


Figura 31. Gráfico de scores e loading.

Os gráficos de scores contendo apenas amostras do solo controle e do solo abaixo dos enterrados e solo controle e solo abaixo dos expostos podem ser observados nas Figuras 32 e 33.

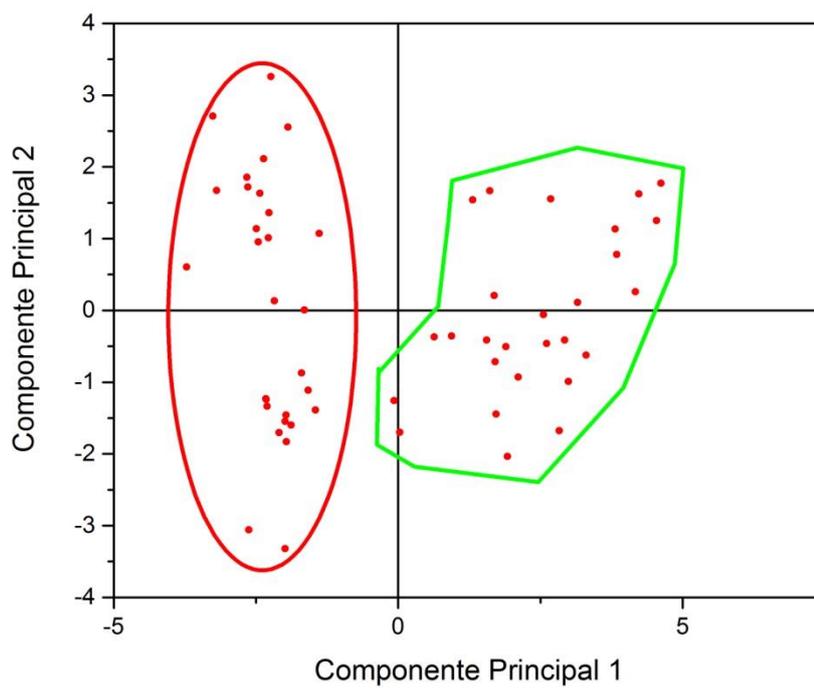


Figura 32. Gráfico de scores das amostras provenientes do solo controle (vermelho) e solo abaixo das carcaças enterradas (verde).

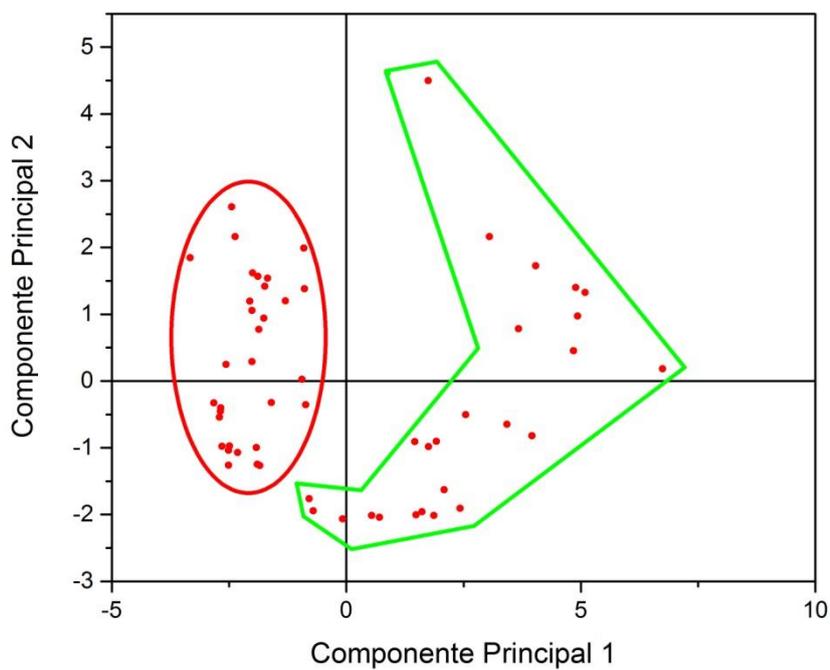


Figura 33. Gráfico de scores das amostras provenientes do solo controle (vermelho) e solo abaixo das carcaças expostas (verde).

A análise multivariada utilizando os 12 parâmetros selecionados levanta a hipótese de que apenas um modelo de previsão do IMP seria suficiente para descrever as situações onde a vítima é depositada tanto acima quanto abaixo do solo, entretanto, vale ressaltar que apenas 3 parâmetros conseguiram distinguir entre o solo proveniente das carcaças enterradas daquele coletado abaixo dos suínos expostos, quando foram analisados individualmente. Ao se realizar a análise multivariada apenas com esses 3 parâmetros (amônio, nitrato e razão C/N) não houve a distinção esperada entre as amostras dos expostos e dos enterrados, fato que pode ser atribuído a interdependência entre cada característica físico-química do solo.

A partir do dendograma foram observados 6 cluster, evidenciados na Figura 34, que contem:

- **Cluster vermelho** = solo abaixo dos espécimes enterrados entre os dias 0 a 42° em ambas as profundidades estudadas, o qual evidencia a diferente velocidade de decomposição e extravasamento de necrochorume em relação aos suínos expostos.
- **Cluster verde** = amostras coletadas abaixo dos espécimes enterrados do dia 54° e 67° e amostras abaixo dos espécimes expostos do dia 0 a 12° indicando a similaridade entre as vias de decomposição de todos os espécimes utilizados, uma vez que todas as carcaças, ao fim do processo de decomposição causaram alterações similares na química do solo.
- **Cluster azul** = amostras do 12° e 15° dia abaixo dos espécimes expostos, onde a presença destes em apenas um grupo indica a transição entre a fase de saponificação para a fase de restos, o qual é um processo que não ocorreu nos espécimes enterrados.
- **Cluster ciano** = amostras de solo abaixo dos espécimes exposto entre os dias 15° e 67° e amostras de solo controle do dia 0 a 21° indicando o processo de recuperação do solo após a completa decomposição das carcaças suínas.

- **Cluster rosa e amarelo** = amostras de solo controle do dia 21° ao 30° e do 30° ao 67°, respectivamente, indicando o efeito das alterações climáticas na dinâmica de nutrientes do solo.

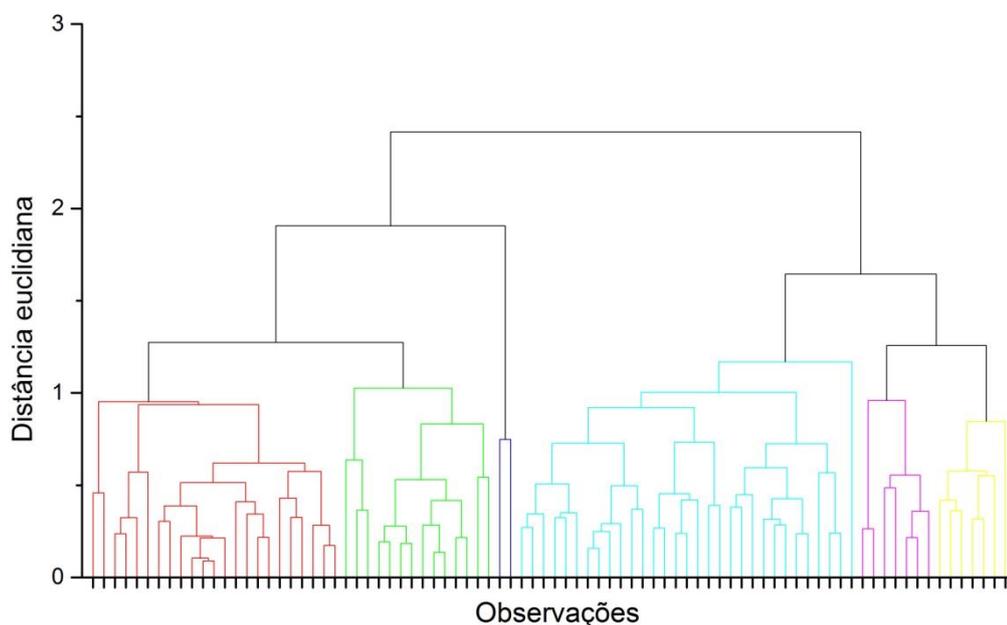


Figura 34. Dendrograma com distância Euclidiana das amostras analisadas.

Os dados apresentados até o momento indicam a possibilidade do desenvolvimento de dois modelos de previsão do IPM distinto, um para vítimas expostas sobre o solo e outro para vítimas enterradas em cova rasa, entretanto, vale ressaltar a necessidade de estabelecer funções matemáticas que descrevam o comportamento individual e coletivo dos parâmetros descrito nesta pesquisa, de forma similar ao realizado por Cockle e Bell (2015b) e Tomberlin e Benbow (2014), tornando possível a avaliação dos modelos desenvolvidos em espécimes com maior massa corpórea e em cadáveres humanos.

CONCLUSÃO

Neste trabalho foi avaliada a influência de dois tipos de carcaças na química do solo, considerando as duas formas mais usuais de se ocultar um cadáver em área de mata, que são mantendo este sobre o solo ou enterrando-o em cova rasa. Foi possível confirmar a hipótese de que diferentes microclimas em uma mesma região podem ter efeito drástico na velocidade da decomposição, sendo observado que enquanto a decomposição acima do solo ocorreu em 11 dias o mesmo processo abaixo do solo ocorreu em 67 dias.

Como as carcaças suínas utilizadas se degradaram por processos similares, conforme consta o resultado do PCA, as diferenças observadas na velocidade da decomposição e efeitos ocasionados na química do solo podem ser atribuídas aos microclimas aos quais cada carcaça foi submetida.

Durante a decomposição cadavérica se observou que as carcaças utilizadas correspondem a um substrato de alimentação rico em nutrientes e energia para a microbiota do solo, o que foi observado pelo aumento nos teores do carbono da biomassa microbiana e respiração basal. O comportamento observado nos níveis de amônio, nitrato e razão C/N do solo durante a decomposição cadavérica também evidenciam a qualidade dos suínos como substrato de alimentação.

O acompanhamento das características do solo abaixo dos espécimes em decomposição indicou que estes não causam influencias significativas nos níveis de micronutrientes do solo, com exceção do zinco, o qual é amplamente utilizado na dieta suína, e indica o cuidado que se deve ter na escolha de espécime para simular a decomposição humana. Devido a dieta diferenciada entre suínos e humanos no que diz

respeito a quantidade de zinco consumido este elemento não pode ser usado na criação de modelos de previsão do IPM desenvolvidos com espécimes suínos.

Os elementos que constituem o fluido intracelular e os eletrólitos do sangue foram liberados pelas carcaças em decomposição ainda na fase enfisematose, e apresentaram comportamentos diferentes do encontrado na literatura, apesar de todos apresentarem um acréscimo nas suas concentrações durante a decomposição. Esta diferenciação se deve ao tempo de duração de cada fase de decomposição na região amazônica quando comparados com outros países.

Dentre os parâmetros analisado, 12 deles apresentaram variações significativas em suas concentrações quando comparados ao solo controle sendo que essas variações ocorreram no intervalo entre o 3º e o 67º dia de decomposição o que indica a possibilidade de utilizar as características do solo na determinação do IPM dentro dessa faixa de tempo.

Os resultados obtidos evidenciaram a inter-relação existente entre cada característica físico-química do solo e os efeitos distintos que tipo de carcaça em decomposição causa nas características químicas do solo. As concentrações de sódio, cálcio, alumínio, magnésio, potássio, fósforo, amônio, nitrato, carbono total, nitrogênio total, razão C/N e pH podem ser utilizados na criação de um modelo de previsão do IPM para região de mata com clima tropical.

TRABALHOS FUTUROS

- Elucidação das funções matemáticas que descrevem o comportamento dos parâmetros estudados;
- Realização da pesquisa em área urbana para aprimoramento do modelo;
- Teste do modelo desenvolvido utilizando espécimes com massa corpórea próxima a de um homem adulto;
- Validação do método espectrofotométrico utilizado para determinação do nitrogênio mineral;
- Avaliação do efeito do tipo de solo nos modelos de previsão desenvolvidos;
- Análise da entomofauna associada a suínos em decomposição em área tropical.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AITKENHEAD-PETERSON, J. A.; OWINGS, C. G.; ALEXANDER, M. B.; LARISON, N.; BYTHEWAY, J. A. Mapping the lateral extent of human cadaver decomposition with soil chemistry. *Forensic Science International*, v. 216, n. 1-3, p. 127–134, 2012.
- ANDERSON, B.; MEYER, J.; CARTER, D. O. Dynamics of ninhydrin-reactive nitrogen and pH in gravesoil during the extended postmortem interval. *Journal of forensic sciences*, v. 58, n. 5, p. 1348–52, 2013. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23879466>>.
- BARROS-SOUZA, A. S.; FERREIRA-KEPPLER, R. L.; AGRA, D. B. Development Period of Forensic Importance Calliphoridae (Diptera: Brachycera) in Urban Area Under Natural Conditions in Manaus, Amazonas, Brazil. *EntomoBrasilis*, v. 5, n. 2, p. 99–105, 2012.
- BENNINGER, L. A.; CARTER, D. O. E FORBES, SHARI L. The biochemical alteration of soil beneath a decomposing carcass. *Forensic Science International*, v. 180, n. 2-3, p. 70–75, 2008.
- BHADRA, P.; HART, A. J.; HALL, M. J. R. Factors affecting accessibility to blowflies of bodies disposed in suitcases. *Forensic Science International*, v. 239, p. 62–72, 2014.
- BILHEUX, H. Z.; CEKANOVA, M.; VASS, A. A.; NICHOLS, T. L.; BILHEUX, J. C.; DONNELL, R. L.; FINOCHIARRO, V. A novel approach to determine post mortem interval using neutron radiography. *Forensic Science International*, v. 251, p. 11–21, 2015.
- BRAGA, M. V.; MENDONÇA, P. M.; BARBOSA, R. R.; BLOMQUIST, G. J.; NOVO, S. C. DUTRA, J. M. F.; SOUZA, S. M.; QUEIROZ, M. M. C. Identification of *Megaselia scalaris* (Loew, 1866) (Diptera: Phoridae) in mummified human body from Itacambira (MG), Brazil, using scanning electron microscopy and cuticular hydrocarbons. *Journal of Natural History*, 2015.
- BRANDÃO-JUNIOR, O.; HUNGRIA, M.; CEZAR, J.; ESPINDOLA, C. R. Comparação entre os métodos de fumigação- extração e fumigação-incubação para determinação do carbono da biomassa em um latossolo. *Revista Brasileira de Ciências do solo*, v. 32, n. 3, p. 1911–1919, 2008.
- BRUNI, A. T.; VELHO, J. A.; OLIVEIRA, M. F. Fundamentos de Química Forense: Uma análise prática da química que soluciona crimes. Campinas: Millennium Editora, 2012.
- CAMPOS, A. P. S. Avaliação do potencial de poluição no solo e nas águas subterrâneas decorrente da atividade cemiterial. 2007. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, 2007.
- CARDOSO, M. O. Métodos Para Quantificação Da Biomassa Microbiana Do Solo. *Agropecuária Técnica*, v. 25, n. 1, p. 1–12, 2004.
- CARTER, D. O.; YELLOWLEES, D.; TIBBETT, M. Cadaver decomposition in terrestrial ecosystems. *Naturwissenschaften*, v. 94, n. 1, p. 12–24, 2007.
- CARTER, D. O.; YELLOWLEES, D.; TIBBETT, M. Moisture can be the dominant environmental parameter governing cadaver decomposition in soil. *Forensic Science*

International, v. 200, n. 1-3, p. 60–66, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.03.031>>.

CATALDO, D. A. MAROON, M.; SCHRADER, L. E.; YOUNGS, V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 6, n. 1, p. 71–80, 1975. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103627509366547>>.

CAVALLARI, M. L.; BALTAZAR, F. N.; NIHEI, S. S.; MUÑOZ, D. R.; TOLEZANO, J. E. Dipterofauna Associated with *Sus scrofa* Linné, 1758, Carcasses in Urban and Coastal Regions of São Paulo State, Brazil. *Psyche*, p. 12, 2015.

CHIMUTSA, M.; OLAKANYE, A. O.; THOMPSON, T. J. U.; RALEBITSO-SENIOR, T. K.. Soil fungal community shift evaluation as a potential cadaver decomposition indicator. *Forensic Science International*, v. 257, p. 155–159, 2015. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0379073815003473>>.

CHRISTENSEN, A. M.; PASSALACQUA, N. V.; BARTELINK, E. J. *Forensic Anthropology: Current Methods and Practice*. 1. ed. Amsterdam: Academic Press, 2014.

CLAESSEN, M. E. C.; BARRETO, W. O.; PAULA, J. L.; DUARTE, M. N. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. Embrapa, v. 2, p. 7–9, 2009.

COCKLE, D. L.; BELL, L. S. Human decomposition and the reliability of a “Universal” model for post mortem interval estimations. *Forensic Science International*, v. 253, p. 136.e1–136.e9, 2015. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S037907381500211X>>.

CORRÊA, J. C.; BARILLI, J.; REBELLATTO, A.; DA VEIGA, M. *Aplicações de Dejetos de Suínos e as Propriedades do Solo*. Circular Técnica 58, 2011.

DALVA, M.; MOORE, T. R.; KALACSKA, M.; LEBLANC, G.; COSTOPOULOS, A. Nitrous oxide, methane and carbon dioxide dynamics from experimental pig graves. *Forensic Science International*, v. 247, p. 41–47, 2015.

DEBATTISTA, R.; TIDY, H.; THOMPSON, T. J. U.; ROBERTSON, P. An investigation into the persistence of textile fibres on buried carcasses. *Science and Justice*, v. 54, n. 4, p. 288–291, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scijus.2014.03.002>>.

DUNPHY, M. A.; WEISENSEE, K. E.; MIKHAILOVA, E. A.; HARMAN, M. K. Design and evaluation of a bioreactor with application to forensic burial environments. *Forensic Science International*, v. 257, p. 242–251, 2015.

ERNANI, P. R.; BITTERN COURT, F.; VALMORBIDA, J.; CRISTANI, J. Influência de adições sucessivas de zinco, rendimento de matéria seca de milho. *Revista Brasileira de Ciências do solo*, v. 25, n. 1, p. 905–911, 2001.

FERREIRA, M. T.; CUNHA, E. Can we infer post mortem interval on the basis of decomposition rate? A case from a Portuguese cemetery. *Forensic Science International*, v. 226, n. 1-3, p. 1–6, 2013.

FINLEY, S. J.; BENBOW, M. E.; JAVAN, G. T. Potential applications of soil microbial ecology and next-generation sequencing in criminal investigations. *Applied Soil Ecology*, v. 88, p. 69–78, 2015. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139315000025>>.

FOCANT, J. F.; STEFANUTO, P.; BRASSEUR, C.; DEKEIRSSCHIETER, J.; HAUBRUGE, E.; SCHOTSMANS, E.; WILSON, A.; STANDLES, S.; FORBES, SHARI L. Forensic cadaveric decomposition profiling by GCxGC-TOFMS analysis of VOCs. *Chemical Bulletin of Kazakh National University*, v. 72, n. 4, p. 177–186, 2013.

FORBES, S. L.; DENT, B. B.; STUART, B. H. The effect of soil type on adipocere formation. *Forensic Science International*, v. 154, n. 1, p. 35–43, 2005.

FORBES, S. L.; PERRAULT, K. A. Decomposition odour profiling in the air and soil surrounding vertebrate carrion. *PLoS ONE*, v. 9, n. 4, p. 21–22, 2014.

FORBES, S. L.; STUART, B. H.; DENT, B. B. The effect of the burial environment on adipocere formation. *Forensic Science International*, v. 154, n. 1, p. 24–34, 2005.

FRAGA, N. J.. Comportamento de oviposição de adultos, tempo de desenvolvimento e morfologia dos imaturos de *Hemilucilia segmentaria* (Fabricius), *H. semidiaphana* (Rondani) e *Lucilia eximima* (Wiedemann) (Diptera: Calliphoridae) na Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia, 2004.

HAGLUND, W. D.; SORG, M. H. *Forensic taphonomy: the postmortem fate of human remains*. Boca Raton: CRC Press, 1996.

HAKKANEN, H.; KATRI, H.; MARKKU, L. Distance patterns and disposal sites in rural area homicides committed in Finland. *Journal of Investigative Psychology and Offender Profiling*, v. 4, n. 3, p. 181–197, 2007.

HARPER, H. J. The accurate determination of nitrates in soils. *Industrial & Engineering Chemistry*, v. 16, n. 2, p. 180–183, 1924. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1021/ie50170a037>>.

HASLAM, T. C. F.; TIBBETT, M. Soils of contrasting pH affect the decomposition of buried mammalian (*Ovis aries*) skeletal muscle tissue. *Journal of Forensic Sciences*, v. 54, n. 4, p. 900–904, 2009.

HOPKINS, D. W.; WILTSHIRE, P. J.; TURNER, B. D. Microbial characteristics of soils from graves: An investigation at the interface of soil microbiology and forensic science. *Applied Soil Ecology*, v. 14, n. 3, p. 283–288, 2000.

HOWARD, G. T.; DUOS, B.; WATSON-HORZELSKI, E. J. Characterization of the soil microbial community associated with the decomposition of a swine carcass. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 64, n. 4, p. 300–304, 2010.

JENKINSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil—IV. The decomposition of fumigated organisms in soil. *Soil Biology and Biochemistry*. [S.l.: s.n.], 1976

JENKINSON, D. S.; BROOKES, P. C.; POWLSON, D. S. Measuring soil microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 36, n. 1, p. 5–7, 2004.

LUCHESE, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. *Fundamentos da química do solo*. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos Editora, 2001.

LUNDRIGAN, S.; CARTER, D. Spatial Patter of Serial Murder: An analsis of disposal site location choise. *Behavioral Sciences and the Law*, v. 19, n. 4, p. 595–610, 2001.

- MARIANI, R.; GARCÍA-MANCUSO, R.; VARELA, G. L.; INDA, A. M.; Entomofauna of a buried body: Study of the exhumation of a human cadaver in Buenos Aires, Argentina. *Forensic Science International*, v. 237, p. 19–26, 2014.
- MARTINI, F. H.; TIMMONS, M. J.; TALLISTSH, R. B. *Anatomia humana*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- MATUSZEWSKI, S.; KONWERSKI, S.; FRATCZAK, K.; SZAFALOWICZ, M. Effect of body mass and clothing on decomposition of pig carcasses. *International Journal of Legal Medicine*, p. 1–10, 2014.
- MEYER, J.; ANDERSON, B.; CARTER, D. O. Seasonal variation of carcass decomposition and gravesoil chemistry in a cold (Dfa) climate. *Journal of Forensic Sciences*, v. 58, n. 5, p. 1175–1182, 2013.
- MISE, K. M.; SOUZA, A. S. B.; CAMPOS, C. M.; KEPPLER, R. L. F.; ALMEIDA, L. M. Coleoptera associated with pig carcass exposed in a forest reserve, Manaus, Amazonas, Brazil. *Biota Neotropica*, v. 10, n. 1, p. 321–324, 2010.
- MOHR, R. M.; TOMBERLIN, J. K. Environmental Factors Affecting Early Carcass Attendance by Four Species of Blow Flies (Diptera: Calliphoridae) in Texas. *Journal of Medical Entomology*, v. 51, n. 3, 2014.
- MONTEIRO, M. I. C.; FERREIRA, F. N.; DE OLIVEIRA, N. M. M.; ÁVILA, A. K. Simplified version of the sodium salicylate method for analysis of nitrate in drinking waters. *Analytica Chimica Acta*, v. 477, n. 1, p. 125–129, 2003.
- MOORCROFT, M. Detection and determination of nitrate and nitrite: a review. *Talanta*, v. 54, n. 5, p. 785–803, 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003991400100323X>>.
- NELSON, D. L.; COX, M. M. *Lehninger Princípios de Bioquímica*. [S.l.: s.n.], 2002. v. 2.
- NIEDEREGGER, S.; SCHERMER, J.; HÖFIG, J.; MALL, G. Case report: Time of death estimation of a buried body by modeling a decomposition matrix for a pig carcass. *Legal Medicine*, v. 17, n. 1, p. 34–38, 2015a. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1344622314001345>>.
- OLIVEIRA-COSTA, J. *Entomologia Forense: quando os insetos são os vestígios*. 3. ed. Campinas: Millennium Editora, 2011.
- PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - Decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciências do solo*, v. 32, n. 2, p. 911–920, 2008. Disponível em: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/714/Numeros/16100_Numero_1.pdf>.
- PERKINELMER. *Organic Elemental Analysis of Soils – Understanding the Carbon-Nitrogen Ratio*. Waltham: [s.n.], 2010. Disponível em: <www.perkinelmer.com>.
- PINHEIRO, S. R. F. Uso de zinco na alimentação de leitões. *Nutritime*, v. 1, p. 157–163, 2004.
- PUJOL-LUZ, J. R.; FRANCEZ, P. A. C.; URURAHY-RODRIGUES, A.; CONSTANTINO, R. The Black Soldier-fly, *Hermetia illucens* (Diptera, Stratiomyidae), Used to Estimate the Postmortem Interval in a Case in Amapá State, Brazil. *Journal of forensic sciences*, v. 53, n. 2, 2008.
- PUJOL-LUZ, J. R.; ARANTES, L. C.; CONSTANTINO, R. Cem anos da Entomologia Forense no Brasil (1908-2008). *Revista Brasileira de Entomologia*, v. 52, n. 4, p. 485–

492, 2008.

PULROLNIK, K. Transformações do carbono no solo. Embrapa Cerrados. Documentos. Planaltina: Embrapa Cerrados. Disponível em: <<http://agris.fao.org/agris-search/search/display.do?f=2012/BR/BR2012105600056.xml;BR20091664366>>. , 2009

QIU, X.; LIU, G.; ZHU, Y. Determination of water-soluble ammonium ion in soil by spectrophotometry. *The Analyst*, v. 112, n. June, p. 909, 1987.

RIBEIRO, P. E. A. Implementação de Análise de Nitrogênio Total em Solo pelo Método de Dumas. . [S.l: s.n.], 2010.

RIES, A. C. R. Sucessão da entomofauna associada a carcaças de *Sus scrofa* L. no sul do Brasil. 2013. 84 f. Pontifca Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.pucrs.br/dspace/handle/10923/5363>>.

SAHA, U. K.; SONON, L.; KISSEL, D. E. Comparison of Conductimetric and Colorimetric Methods with Distillation–Titration Method of Analyzing Ammonium Nitrogen in Total Kjeldahl Digests. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 43, n. 18, p. 2323–2341, 2012. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103624.2012.708081>>.

SCHMITT, A. *Forensic Anthropology and Medicine: Complementary Sciences From Recovery to Cause of Death*. 1. ed. Totowa: Humana Press, 2006.

SCHOTSMANS, E. M. J.; VAN DE VOORDE, W.; DE WINNE, J.; WILSON, A. S. The impact of shallow burial on differential decomposition to the body: A temperate case study. *Forensic Science International*, v. 206, n. 1-3, 2011.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂). Comunicado Técnico EMBRAPA. [S.l: s.n.], 2007.

SILVA, R. W. C.; FILHO, W. M. Geoelectrical mapping of contamination in the cemeteries: the case study in Piracicaba, São Paulo/Brazil. *Environmental Earth Science*, v. 66, n. 5, p. 1371–1383, 2011.

SOUZA, E. R., RAFAEL, J. A.; FILHO, F. F. X.; DA-SILVA-FREITAS, J. O.; OLIVEIRA-COSTA, J.; URURAHY-RODRIGUES, A. First Medicolegal Forensic Entomology Case of Central Amazon: A Suicide by Hanging with Incomplete Suspension. *EntomoBrasilis*, v. 7, n. 1, p. 12–15, 2014.

SPICKA, A.; JOHNSON, R.; BUSHING, J.; HIGLEY, L. G.; CARTER, D. O. Carcass mass can influence rate of decomposition and release of ninhydrin-reactive nitrogen into gravesoil. *Forensic Science International*, v. 209, n. 1-3, p. 80–85, 2011.

STOKES, K. L.; FORBES, S. L.; TIBBETT, M. Human Versus Animal: Contrasting Decomposition Dynamics of Mammalian Analogues in Experimental Taphonomy. *Journal of Forensic Sciences*, v. 58, n. 3, p. 583–591, 2013.

SULLIVAN, T. P.; EAGLSTEIN, W. H.; DAVIS, S. C.; MERTZ, P. The pig as a model for human wound healing. *Wound repair and regeneration : official publication of the Wound Healing Society and the European Tissue Repair Society*, v. 9, n. 2, p. 66–76, 2001.

SWAIS, R.; KUMAR, A.; SAHOO, J.; LAKSHMY, R.; GUPTA, S. K.; BHARDWAJ, D. N.; PANDEY, R. M. Estimation of post-mortem interval: A comparison between

cerebrospinal fluid and vitreous humour chemistry. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, v. 36, p. 144–148, 2015.

SZELECZ, I.; FOURNIER, B.; SEPPEY, C.; AMENDT, J.; MITCHELL, E. Can soil testate amoebae be used for estimating the time since death? A field experiment in a deciduous forest. *Forensic Science International*, v. 236, p. 90–98, 2014.

TIBBETT, M.; CARTER, D. O. Soil analysis in forensic taphonomy: Chemical and biological effects of buried human remains. New York: CRC Press, 2008.

TOMBERLIN, J. K.; BENBOW, M. E. *Forensic Entomology: International Dimensions and Frontiers*. 1. ed. Texas: CRC Press, 2014.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. *Solos e Fertilidade do Solo*. 6° ed. São Paulo: Organização Andrei Editora, 2007.

TUMER, A. R.; KARACAOGLU, E.; NAMLI, A.; KETEN, A.; FARASAT, S.; AKCAN, R.; SERT, O.; ODABAŞI, A. B. Effects of different types of soil on decomposition: An experimental study. *Legal Medicine*, v. 15, n. 3, p. 149–156, 2013.

TURNER, B.; WILTSHIRE, P. Experimental validation of forensic evidence: A study of the decomposition of buried pigs in a heavy clay soil. *Forensic Science International*, v. 101, n. 2, p. 113–122, 1999.

UNODC. *Global Study on Homicide 2013*. [S.l.: s.n.], 2013. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22057928>>.

VAIRO, K. P.; CORRÊA, R. C.; LECHETA, M. C.; CANEPARO, M. F.; MISE, K. M.; PRETI, D.; DE CARVALHO, C. J. B.; ALMEIDA, L. M.; MOURA, M. O. Forensic use of a subtropical blowfly: the first case indicating minimum postmortem interval (mPMI) in southern Brazil and first record of *Sarconesia chlorogaster* from a human corpse. *Journal of Forensic Sciences*, v. 60, n. January, p. S257–S260, 2015.

VAN BELLE, L. E.; CARTER, D. O.; FORBES, S. L. Measurement of ninhydrin reactive nitrogen influx into gravesoil during aboveground and belowground carcass (*Sus domesticus*) decomposition. *Forensic Science International*, v. 193, n. 1-3, p. 37–41, 2009.

VASS, A. A.; BASS, W. M.; WOLT, J. D.; FOSS, J. E.; AMMONS, J. T. Time since death determinations of human cadavers using soil solution. *Journal of forensic sciences*, v. 37, n. 5, p. 1236–1253, 1992.

WASELFISZ, J. J. *Homicídios e Juventude no Brasil*. . Brasília: [s.n.], 2014. Disponível em: <www.juventude.gov.br/juventudeviva>.

WASELFISZ, J. J. *Mapa da Violência Os Novos Padrões da Violência Homicida no Brasil*. . São Paulo: [s.n.], 2011. Disponível em: <www.mapadaviolencia.org.br>.

WILSON, A. S.; JANAWAY, R. C.; HOLLAND, A. D.; DODSON, H. I.; BARAN, E.; POLLARD, A. M.; TOBIN, D. J. Modelling the buried human body environment in upland climates using three contrasting field sites. *Forensic Science International*, v. 169, n. 1, p. 6–18, 2007.

WOLFF, M.; URIBE, A.; ORTIZ, A.; DUQUE, P. A preliminary study of forensic entomology in Medellín, Colombia. *Journal of forensic sciences*, v. 120, n. 1, p. 53–59, 2001.

YOUNG, J. M.; WEYRICH, L.S.; BRENN, J.; MACDONALD, L. M.; COOPER, A. Predicting the origin of soil evidence: High throughput eukaryote sequencing and MIR spectroscopy applied to a crime scene scenario. *Forensic Science International*, v. 251, p. 22–31, 2015.

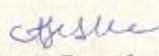
APÊNDICE A – Certificado de aprovação para utilização de animais em pesquisa científica.

	Poder Executivo Ministério da Educação Universidade Federal do Amazonas Comitê de Ética no Uso de Animais – CEUA	 UFAM
---	---	--

CERTIFICADO

Certificamos que o Projeto de Protocolo nº 007/2014-CEUA/UFAM, intitulado como “Padrões de Decomposição e Entomofauna associada a Decomposição cadavérica de Corpos enterrados em solo da Amazônia Central ” sob responsabilidade da **Dr^a. Karime Rita de Souza Bentes** está de acordo com a Legislação Federal pertinente ao uso científico de animais e foi **APROVADO** pelo **COMITÊ DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA-UFAM)** em Reunião ocorrida em 22/01/2015.

Manaus, 23 de janeiro de 2015.


Profa. Dra. Cinthya Iamille Fritsch Brandão de Oliveira
Presidente da CEUA/UFAM

Av. Gal. Rodrigo Otávio Jordão Ramos, 3000, Cocado, Campus Universitário, Setor Sul, atrás do Elton C. 69077-900 – Manaus/AM
Tel.: (92) 3305-4325 e-mail: ceua@ufam.edu.br ou ceua123@gmail.com

APÊNDICE B – Dados climáticos durante o período de coletas.

Dias após o óbito	Temperatura (°C)	Precipitação (mm)	Umidade (%)	Dias após o óbito	Temperatura (°C)	Precipitação (mm)	Umidade (%)
1	23,42	25,91	92,59	35	24,85	17,78	89,56
2	23,50	7,87	92,61	36	24,47	0,00	89,75
3	23,89	11,43	92,37	37	25,11	38,36	86,66
4	23,33	20,32	94,07	38	24,28	20,83	92,29
5	23,82	1,02	93,46	39	23,93	3,05	93,12
6	25,05	7,62	88,53	40	25,08	0,00	88,51
7	25,15	4,83	88,99	41	25,98	2,29	83,65
8	24,52	1,02	91,76	42	25,49	8,64	84,52
9	24,77	14,22	88,63	43	23,68	9,90	92,31
10	24,20	0,00	92,15	44	24,01	3,56	91,94
11	25,08	2,29	88,25	45	23,56	36,07	91,92
12	26,05	73,92	85,09	46	22,26	0,00	96,11
13	23,78	4,57	94,44	47	24,08	18,55	88,47
14	24,19	5,08	92,73	48	23,03	0,25	93,50
15	24,59	21,08	91,73	49	24,98	0,00	84,79
16	23,81	1,02	93,68	50	25,35	0,00	80,35
17	23,61	4,06	92,93	51	25,13	0,00	82,44
18	24,62	0,76	91,66	52	24,10	9,40	88,95
19	25,18	9,91	89,06	53	23,92	0,00	91,99
20	23,60	0,25	92,68	54	24,66	0,00	87,89
21	24,86	0,00	88,63	55	24,71	0,00	87,80
22	25,46	13,97	85,71	56	25,18	0,00	81,17
23	24,35	1,52	90,86	57	24,34	0,00	78,85
24	24,64	1,78	90,13	58	24,47	5,84	84,94
25	24,62	10,67	89,56	59	25,17	11,43	87,74
26	25,18	6,10	89,31	60	25,94	11,43	89,91
27	24,34	9,14	89,86	61	24,97	5,33	88,10
28	24,47	0,25	90,72	62	24,17	0,25	90,59
29	25,17	0,00	89,05	63	24,75	0,00	88,17
30	25,94	10,41	84,18	64	23,66	0,00	83,80
31	24,97	13,20	88,07	65	24,85	0,00	82,83
32	24,17	0,00	92,78	66	24,47	1,52	82,50
33	24,75	10,41	86,78	67	25,11	3,05	84,57
34	23,66	0,00	92,21	68	24,28	0,00	86,62

APÊNDICE C – Características físico-químicas do solo coletado durante o experimento.

Dias após o óbito	Alumínio trocável - Al ³⁺ (mg kg ⁻¹)					
	Espécimes enterrados (n=3)		Espécimes expostos (n=3)		Solo Controle (n=14)	
	Profundidade		Profundidade		Profundidade	
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm
0	54,56 ± 30,96	50,06 ± 4,95	79,74 ± 8,36	63,85 ± 16,51	62,06 ± 13,68	66,55 ± 18,17
3	5,10 ± 4,95	8,69 ± 15,06	11,69 ± 14,81	26,38 ± 11,10	82,74 ± 13,68	63,85 ± 18,17
6	2,40 ± 4,15	0,00 ± 0,00	4,20 ± 2,60	11,99 ± 1,87	82,74 ± 13,68	70,15 ± 18,17
9	3,60 ± 3,24	0,00 ± 0,00	1,50 ± 0,52	6,00 ± 10,38	72,85 ± 13,68	48,57 ± 18,17
12	37,43 ± 9,06	36,81 ± 6,51	7,49 ± 8,50	7,49 ± 8,50	90,84 ± 13,68	68,35 ± 18,17
15	0,00 ± 0,00	1,80 ± 3,12	11,58 ± 6,53	23,08 ± 13,83	92,63 ± 13,68	62,06 ± 18,17
18	2,40 ± 4,15	4,80 ± 6,81	6,60 ± 2,08	13,19 ± 11,87	88,14 ± 13,68	55,76 ± 18,17
21	1,50 ± 1,37	0,00 ± 0,00	3,18 ± 1,15	4,50 ± 3,92	78,24 ± 13,68	60,26 ± 18,17
24	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	16,11 ± 1,63	16,79 ± 14,54	77,34 ± 13,68	49,46 ± 18,17
27	4,80 ± 1,04	8,25 ± 0,94	6,90 ± 5,78	10,49 ± 9,23	54,86 ± 13,68	50,36 ± 18,17
30	1,80 ± 2,38	0,60 ± 0,52	18,59 ± 25,22	18,89 ± 28,85	73,75 ± 13,68	45,67 ± 18,17
42	0,00 ± 0,00	1,80 ± 1,56	6,00 ± 4,06	6,30 ± 2,38	63,85 ± 13,68	42,27 ± 18,17
54	1,80 ± 3,12	0,90 ± 1,56	32,98 ± 19,42	45,87 ± 7,36	47,67 ± 13,68	72,85 ± 18,17
67	0,00 ± 0,00	2,70 ± 2,38	55,80 ± 7,69	43,77 ± 16,64	62,96 ± 13,68	54,86 ± 18,17

Amônio – NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹)							
Espécimes enterrados (n=3)			Espécimes expostos (n=3)			Solo Controle (n=14)	
Dias após o óbito	Profundidade		Profundidade		Profundidade		
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	
0	7,38 ± 0,47	5,46 ± 0,46	4,88 ± 1,31	4,66 ± 1,55	6,07 ± 3,58	6,93 ± 4,83	
3	39,48 ± 23,85	87,41 ± 54,70	108,50 ± 19,00	22,14 ± 17,59	4,59 ± 3,58	4,20 ± 4,83	
6	94,29 ± 89,64	175,62 ± 125,19	229,50 ± 70,67	73,97 ± 33,02	1,28 ± 3,58	-0,72 ± 4,83	
9	262,37 ± 256,99	198,08 ± 52,06	208,68 ± 128,23	142,69 ± 76,93	0,31 ± 3,58	-2,36 ± 4,83	
12	69,29 ± 65,46	160,27 ± 119,98	299,71 ± 147,30	64,72 ± 11,05	9,39 ± 3,58	9,61 ± 4,83	
15	436,08 ± 231,74	169,18 ± 87,62	95,06 ± 37,85	64,69 ± 50,39	2,46 ± 3,58	10,26 ± 4,83	
18	515,08 ± 222,99	211,37 ± 150,28	294,27 ± 40,40	185,60 ± 98,06	8,34 ± 3,58	12,00 ± 4,83	
21	480,09 ± 118,37	428,46 ± 260,08	525,93 ± 54,78	160,37 ± 69,30	6,90 ± 3,58	-2,96 ± 4,83	
24	469,00 ± 186,07	312,93 ± 178,74	110,76 ± 38,24	116,84 ± 92,70	0,97 ± 3,58	2,41 ± 4,83	
27	273,82 ± 140,75	156,58 ± 66,96	289,24 ± 214,28	137,99 ± 10,10	7,94 ± 3,58	6,97 ± 4,83	
30	651,58 ± 157,72	504,62 ± 376,65	158,78 ± 85,35	97,40 ± 118,68	4,39 ± 3,58	3,55 ± 4,83	
42	709,97 ± 133,42	321,71 ± 216,21	206,02 ± 52,58	162,61 ± 42,16	9,35 ± 3,58	10,95 ± 4,83	
54	430,95 ± 227,56	335,64 ± 246,08	153,95 ± 68,22	33,60 ± 9,83	8,88 ± 3,58	5,07 ± 4,83	
67	382,38 ± 206,36	151,91 ± 46,87	78,26 ± 42,15	87,56 ± 56,77	11,36 ± 3,58	3,13 ± 4,83	

Carbono total (%)						
Espécimes enterrados (n=3)			Espécimes expostos (n=3)		Solo Controle (n=14)	
Dias após o óbito	Profundidade		Profundidade		Profundidade	
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm
0	0,659 ± 0,100	0,539 ± 0,047	1,068 ± 0,203	0,897 ± 0,130	1,112 ± 0,101	0,900 ± 0,114
3	0,791 ± 0,045	0,647 ± 0,024	1,127 ± 0,118	0,834 ± 0,140	1,234 ± 0,101	0,864 ± 0,114
6	0,686 ± 0,065	0,731 ± 0,087	1,232 ± 0,026	0,807 ± 0,066	1,222 ± 0,101	0,969 ± 0,114
9	0,872 ± 0,076	0,951 ± 0,169	1,186 ± 0,149	0,898 ± 0,045	1,144 ± 0,101	0,846 ± 0,114
12	0,713 ± 0,085	0,780 ± 0,084	1,376 ± 0,125	0,854 ± 0,011	1,359 ± 0,101	0,874 ± 0,114
15	0,788 ± 0,078	0,798 ± 0,110	1,512 ± 0,310	0,797 ± 0,120	1,294 ± 0,101	0,899 ± 0,114
18	1,025 ± 0,135	0,641 ± 0,000	1,476 ± 0,432	1,013 ± 0,094	1,311 ± 0,101	0,822 ± 0,114
21	0,990 ± 0,191	0,796 ± 0,031	1,432 ± 0,290	0,911 ± 0,118	1,187 ± 0,101	0,817 ± 0,114
24	1,010 ± 0,102	0,776 ± 0,142	1,122 ± 0,199	0,828 ± 0,176	1,251 ± 0,101	0,744 ± 0,114
27	1,130 ± 0,084	0,828 ± 0,047	1,388 ± 0,236	1,103 ± 0,246	1,073 ± 0,101	1,134 ± 0,114
30	1,219 ± 0,143	0,663 ± 0,088	1,369 ± 0,197	1,072 ± 0,234	1,222 ± 0,101	1,109 ± 0,114
42	1,022 ± 0,142	0,755 ± 0,055	1,383 ± 0,296	0,921 ± 0,060	1,440 ± 0,101	0,832 ± 0,114
54	0,884 ± 0,131	0,780 ± 0,038	1,125 ± 0,143	0,934 ± 0,211	1,230 ± 0,101	0,800 ± 0,114
67	0,901 ± 0,028	0,740 ± 0,057	1,049 ± 0,139	0,835 ± 0,139	1,184 ± 0,101	0,979 ± 0,114

Cálcio- Ca ²⁺ (mg kg ⁻¹)							
Espécimes enterrados (n=3)			Espécimes expostos (n=3)			Solo Controle (n=14)	
Dias após o óbito	Profundidade		Profundidade		Profundidade		
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	
0	4,667 ± 0,764	5,167 ± 0,764	5,500 ± 1,500	6,333 ± 2,363	8,500 ± 1,190	6,500 ± 1,380	
3	4,500 ± 0,707	5,667 ± 1,607	6,833 ± 1,528	5,333 ± 0,289	9,000 ± 1,190	5,000 ± 1,380	
6	4,167 ± 0,577	7,000 ± 2,291	9,333 ± 1,607	6,667 ± 0,577	7,000 ± 1,190	5,500 ± 1,380	
9	6,000 ± 1,323	5,250 ± 0,354	12,000 ± 0,000	11,000 ± 1,323	-- ± 1,190	7,500 ± 1,380	
12	6,167 ± 0,577	7,167 ± 1,258	12,667 ± 2,466	7,833 ± 0,764	9,500 ± 1,190	5,500 ± 1,380	
15	5,500 ± 0,866	8,167 ± 0,764	15,000 ± 0,707	7,833 ± 3,329	7,000 ± 1,190	5,500 ± 1,380	
18	5,150 ± 0,495	4,400 ± 1,556	10,050 ± 5,303	6,133 ± 3,512	4,800 ± 1,190	2,800 ± 1,380	
21	5,967 ± 0,577	4,633 ± 1,041	12,967 ± 4,368	7,800 ± 3,905	4,300 ± 1,190	3,800 ± 1,380	
24	7,050 ± 2,475	4,300 ± 1,000	7,800 ± 4,822	5,467 ± 2,363	4,300 ± 1,190	3,300 ± 1,380	
27	5,300 ± 1,414	6,300 ± 1,323	11,633 ± 3,686	8,800 ± 5,074	3,800 ± 1,190	4,300 ± 1,380	
30	6,300 ± 2,291	4,300 ± 1,500	14,633 ± 3,617	7,550 ± 3,182	4,800 ± 1,190	5,800 ± 1,380	
42	5,967 ± 0,764	6,467 ± 0,577	11,050 ± 3,889	12,300 ± 7,000	5,800 ± 1,190	4,300 ± 1,380	
54	7,050 ± 0,354	7,467 ± 1,756	15,467 ± 3,753	8,467 ± 3,014	5,300 ± 1,190	6,800 ± 1,380	
67	7,800 ± 0,866	7,300 ± 1,414	20,133 ± 8,327	10,300 ± 1,732	7,800 ± 1,190	-- ± 1,380	

Carbono da Biomassa Microbiana (mg carbono microbiano kg⁻¹)

Dias após o óbito	Espécimes enterrados (n=3)		Espécimes expostos (n=3)		Solo Controle (n=14)	
	Profundidade		Profundidade		Profundidade	
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm
0	22,347 ± 6,413	17,857 ± 9,653	34,410 ± 20,458	25,819 ± 9,832	25,943 ± 24,620	33,378 ± 24,730
3	104,930 ± 17,201	160,264 ± 37,621	213,518 ± 83,610	137,638 ± 41,279	58,472 ± 24,620	21,969 ± 24,730
6	128,445 ± 25,279	135,030 ± 15,938	108,371 ± 25,764	40,143 ± 13,749	40,415 ± 24,620	31,737 ± 24,730
9	126,544 ± 37,315	109,847 ± 41,913	91,161 ± 51,448	68,943 ± 13,024	32,560 ± 24,620	86,186 ± 24,730
12	51,714 ± 49,063	47,540 ± 9,579	118,927 ± 46,677	42,808 ± 56,338	22,676 ± 24,620	10,497 ± 24,730
15	66,537 ± 24,642	88,644 ± 42,679	74,060 ± 14,134	45,588 ± 26,979	76,445 ± 24,620	42,410 ± 24,730
18	57,975 ± 9,933	42,313 ± 9,176	69,678 ± 23,700	54,441 ± 2,135	21,941 ± 24,620	28,066 ± 24,730
21	37,942 ± 28,765	42,476 ± 16,660	60,724 ± 57,511	50,538 ± 10,228	17,029 ± 24,620	7,734 ± 24,730
24	88,325 ± 39,030	42,070 ± 31,778	70,625 ± 19,114	67,882 ± 15,667	88,086 ± 24,620	72,912 ± 24,730
27	117,347 ± 9,621	55,419 ± 26,462	71,779 ± 23,562	78,153 ± 42,942	28,912 ± 24,620	53,099 ± 24,730
30	62,308 ± 27,208	44,555 ± 10,143	45,838 ± 9,700	46,758 ± 21,675	35,256 ± 24,620	22,304 ± 24,730

Cobre – Cu ²⁺ (mg kg ¹)							
Espécimes enterrados (n=3)			Espécimes expostos (n=3)			Solo Controle (n=14)	
Dias após o óbito	Profundidade		Profundidade		Profundidade		
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	
0	0,083 ± 0,144	0,750 ± 1,299	0,083 ± 0,144	0,250 ± 0,250	0,000 ± 0,210	0,000 ± 0,200	
3	0,167 ± 0,144	0,167 ± 0,144	0,250 ± 0,000	0,167 ± 0,144	0,000 ± 0,210	0,500 ± 0,200	
6	0,250 ± 0,000	0,167 ± 0,144	0,333 ± 0,144	0,250 ± 0,000	0,250 ± 0,210	0,250 ± 0,200	
9	0,167 ± 0,144	0,333 ± 0,144	0,500 ± 0,250	0,250 ± 0,000	0,250 ± 0,210	0,250 ± 0,200	
12	0,333 ± 0,144	0,250 ± 0,000	0,667 ± 0,289	0,250 ± 0,000	0,250 ± 0,210	0,250 ± 0,200	
15	0,333 ± 0,289	0,333 ± 0,144	0,500 ± 0,000	0,250 ± 0,000	0,250 ± 0,210	0,250 ± 0,200	
18	0,250 ± 0,000	0,333 ± 0,144	0,667 ± 0,289	0,500 ± 0,250	0,250 ± 0,210	0,250 ± 0,200	
21	0,417 ± 0,289	0,417 ± 0,144	0,917 ± 0,722	0,667 ± 0,722	0,250 ± 0,210	0,000 ± 0,200	
24	0,250 ± 0,250	0,167 ± 0,144	0,167 ± 0,144	0,083 ± 0,144	0,000 ± 0,210	0,250 ± 0,200	
27	0,167 ± 0,144	0,250 ± 0,250	0,833 ± 0,144	0,500 ± 0,250	0,750 ± 0,210	0,250 ± 0,200	
30	0,333 ± 0,144	0,333 ± 0,144	0,417 ± 0,144	0,583 ± 0,144	0,250 ± 0,210	0,500 ± 0,200	
42	0,250 ± 0,000	0,167 ± 0,144	0,917 ± 0,520	0,667 ± 0,144	0,500 ± 0,210	0,500 ± 0,200	
54	0,500 ± 0,000	0,500 ± 0,000	0,750 ± 0,000	0,417 ± 0,144	0,500 ± 0,210	0,750 ± 0,200	
67	0,583 ± 0,144	0,500 ± 0,250	0,583 ± 0,144	0,750 ± 0,000	0,500 ± 0,210	0,500 ± 0,200	

Ferro – Fe ³⁺ (mg kg ⁻¹)						
Espécimes enterrados (n=3)			Espécimes expostos (n=3)		Solo Controle (n=14)	
Dias após o óbito	Profundidade		Profundidade		Profundidade	
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm
0	4018,33 ± 2339,55	4655,83 ± 248,22	6218,33 ± 1292,06	7210,00 ± 274,15	6322,50 ± 1373,54	6572,50 ± 1267,58
3	4635,00 ± 471,86	4730,83 ± 964,23	5735,00 ± 387,50	6335,00 ± 1259,15	6322,50 ± 1373,54	7185,00 ± 1267,58
6	5276,67 ± 312,58	4926,67 ± 697,80	9997,50 ± 1219,44	6897,50 ± 841,13	5585,00 ± 1373,54	7447,50 ± 1267,58
9	6160,00 ± 1445,95	7060,00 ± 1378,35	7655,83 ± 1031,26	6818,33 ± 452,83	6897,50 ± 1373,54	7460,00 ± 1267,58
12	5439,17 ± 1333,60	4947,50 ± 383,04	8930,83 ± 1377,12	6264,17 ± 569,04	5697,50 ± 1373,54	5810,00 ± 1267,58
15	5489,17 ± 1330,02	8014,17 ± 2843,48	11472,50 ± 265,17	6976,67 ± 1591,45	6560,00 ± 1373,54	7185,00 ± 1267,58
18	6460,00 ± 1219,95	6430,83 ± 1537,31	11193,33 ± 425,25	7980,83 ± 532,73	6985,00 ± 1373,54	7122,50 ± 1267,58
21	8972,50 ± 491,01	7968,33 ± 120,11	10701,67 ± 104,83	9780,83 ± 1328,85	6422,50 ± 1373,54	7250,00 ± 1267,58
24	6283,33 ± 528,17	5675,00 ± 878,92	7408,33 ± 2802,05	7375,00 ± 435,89	7550,00 ± 1373,54	8750,00 ± 1267,58
27	7925,00 ± 475,00	6491,67 ± 846,07	10008,33 ± 678,85	8358,33 ± 911,84	8825,00 ± 1373,54	5850,00 ± 1267,58
30	8708,33 ± 1852,42	5983,33 ± 1263,02	11100,00 ± 3820,09	9791,67 ± 905,65	7350,00 ± 1373,54	9200,00 ± 1267,58
42	8650,00 ± 904,16	7016,67 ± 1557,71	14025,00 ± 552,83	11916,67 ± 475,22	8350,00 ± 1373,54	9400,00 ± 1267,58
54	9941,67 ± 2247,27	7816,67 ± 614,58	9683,33 ± 1240,04	8191,67 ± 778,35	9900,00 ± 1373,54	6950,00 ± 1267,58
67	9375,00 ± 1708,80	8933,33 ± 1418,04	9591,67 ± 1573,48	6141,67 ± 1150,09	4675,00 ± 1373,54	9900,00 ± 1267,58

Fósforo disponível (mg kg ⁻¹)												
	Espécimes enterrados (n=3)				Espécimes expostos (n=3)				Solo Controle (n=14)			
	Profundidade		Profundidade		Profundidade		Profundidade		Profundidade			
Dias após o óbito	0 - 10 cm		10 - 20 cm		0 - 10 cm		10 - 20 cm		0 - 10 cm		10 - 20 cm	
0	0,39	± 0,03	0,26	± 0,04	0,97	± 0,31	0,85	± 0,54	1,60	± 0,21	0,55	± 0,11
3	6,27	± 0,55	11,01	± 2,10	6,66	± 2,78	2,81	± 1,00	1,69	± 0,21	0,90	± 0,11
6	5,49	± 0,25	7,99	± 4,41	15,42	± 4,28	4,17	± 1,31	1,58	± 0,21	0,96	± 0,11
9	78,01	± 6,51	24,55	± 18,81	17,42	± 2,46	9,59	± 2,28	1,70	± 0,21	0,79	± 0,11
12	1,11	± 0,50	1,81	± 2,00	31,23	± 1,78	8,52	± 1,22	1,81	± 0,21	0,89	± 0,11
15	3,84	± 2,24	17,55	± 8,04	17,87	± 7,33	5,00	± 3,28	1,35	± 0,21	0,81	± 0,11
18	5,34	± 1,88	22,20	± 9,26	17,60	± 7,15	14,29	± 0,25	1,34	± 0,21	0,63	± 0,11
21	27,13	± 6,03	24,46	± 15,24	29,00	± 1,07	37,20	± 13,97	1,33	± 0,21	0,89	± 0,11
24	33,42	± 18,89	48,30	± 20,20	38,34	± 10,84	16,31	± 9,73	1,67	± 0,21	0,74	± 0,11
27	7,51	± 2,84	22,24	± 10,59	30,49	± 7,01	22,13	± 16,02	1,09	± 0,21	0,91	± 0,11
30	25,52	± 4,72	3,99	± 0,95	23,75	± 10,26	36,07	± 20,60	1,50	± 0,21	0,79	± 0,11
42	22,58	± 7,02	14,85	± 2,06	45,01	± 15,71	10,41	± 4,11	1,65	± 0,21	0,68	± 0,11
54	15,82	± 2,92	7,83	± 0,71	21,00	± 3,60	5,44	± 0,86	1,68	± 0,21	0,89	± 0,11
67	14,92	± 5,91	10,24	± 10,17	29,42	± 11,92	7,19	± 3,30	1,89	± 0,21	0,76	± 0,11

Magnésio – Mg ²⁺ (mg kg ⁻¹)							
Espécimes enterrados (n=3)			Espécimes expostos (n=3)		Solo Controle (n=14)		
Dias após o óbito	Profundidade		Profundidade		Profundidade		
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	
0	3,28 ± 0,29	3,11 ± 0,00	5,12 ± 0,50	4,45 ± 1,05	5,12 ± 1,60	4,62 ± 0,90	
3	6,29 ± 2,03	5,79 ± 1,05	6,96 ± 1,26	4,62 ± 0,50	5,62 ± 1,60	4,62 ± 0,90	
6	3,78 ± 0,29	4,79 ± 0,29	8,13 ± 0,50	5,46 ± 0,58	6,12 ± 1,60	4,62 ± 0,90	
9	5,29 ± 2,09	6,12 ± 2,30	9,14 ± 2,19	7,30 ± 1,90	6,12 ± 1,60	4,62 ± 0,90	
12	4,28 ± 0,77	4,95 ± 0,29	10,14 ± 0,87	6,29 ± 1,53	5,62 ± 1,60	5,12 ± 0,90	
15	3,61 ± 0,50	6,12 ± 1,51	9,64 ± 0,00	5,29 ± 0,58	7,13 ± 1,60	5,12 ± 0,90	
18	6,23 ± 1,39	6,56 ± 2,24	13,79 ± 2,58	8,43 ± 2,30	9,94 ± 1,60	5,92 ± 0,90	
21	6,09 ± 0,77	5,42 ± 0,50	10,44 ± 0,71	9,44 ± 6,17	8,43 ± 1,60	6,43 ± 0,90	
24	8,27 ± 1,90	7,43 ± 0,50	10,78 ± 2,37	7,26 ± 1,61	8,94 ± 1,60	6,43 ± 0,90	
27	8,60 ± 3,34	7,60 ± 0,29	15,30 ± 2,09	11,28 ± 5,03	7,93 ± 1,60	-- ± 0,90	
30	7,10 ± 2,77	5,09 ± 1,05	13,79 ± 1,61	10,28 ± 3,63	8,43 ± 1,60	6,43 ± 0,90	
42	7,43 ± 1,00	6,43 ± 1,00	12,20 ± 1,07	10,44 ± 3,51	9,94 ± 1,60	6,93 ± 0,90	
54	7,60 ± 2,90	6,43 ± 0,50	16,13 ± 2,85	8,43 ± 2,01	7,43 ± 1,60	-- ± 0,90	
67	6,09 ± 1,16	7,26 ± 2,32	18,31 ± 3,34	10,11 ± 1,26	8,43 ± 1,60	6,43 ± 0,90	

Manganês – Mn ⁺ (mg kg ⁻¹)						
Espécimes enterrados (n=3)			Espécimes expostos (n=3)		Solo Controle (n=14)	
Dias após o óbito	Profundidade		Profundidade		Profundidade	
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm
0	21,67 ± 1,44	21,67 ± 1,44	24,17 ± 3,82	24,17 ± 3,82	25,00 ± 33,97	27,50 ± 28,91
3	38,33 ± 16,65	33,33 ± 1,44	32,50 ± 2,50	36,67 ± 3,82	40,00 ± 33,97	42,50 ± 28,91
6	46,67 ± 5,20	47,50 ± 0,00	45,00 ± 4,33	52,50 ± 2,50	40,00 ± 33,97	47,50 ± 28,91
9	62,50 ± 5,00	64,17 ± 2,89	58,33 ± 5,20	62,50 ± 2,50	55,00 ± 33,97	57,50 ± 28,91
12	70,00 ± 4,33	70,00 ± 4,33	70,83 ± 6,29	71,67 ± 2,89	70,00 ± 33,97	72,50 ± 28,91
15	83,33 ± 1,44	81,67 ± 6,29	80,00 ± 7,07	82,50 ± 0,00	82,50 ± 33,97	82,50 ± 28,91
18	91,67 ± 6,29	94,17 ± 5,77	90,83 ± 8,78	95,00 ± 6,61	97,50 ± 33,97	92,50 ± 28,91
21	104,17 ± 3,82	105,83 ± 1,44	101,67 ± 8,78	105,83 ± 8,04	100,00 ± 33,97	17,50 ± 28,91
24	25,83 ± 8,78	25,83 ± 1,44	10,00 ± 2,50	14,17 ± 1,44	12,50 ± 33,97	17,50 ± 28,91
27	25,83 ± 15,28	23,33 ± 5,77	14,17 ± 3,82	20,83 ± 10,10	12,50 ± 33,97	5,00 ± 28,91
30	19,17 ± 8,04	20,83 ± 7,64	14,17 ± 9,46	11,67 ± 2,89	10,00 ± 33,97	10,00 ± 28,91
42	10,83 ± 2,89	17,50 ± 4,33	13,33 ± 10,10	14,17 ± 5,20	2,50 ± 33,97	7,50 ± 28,91
54	21,67 ± 5,20	24,17 ± 7,64	17,50 ± 6,61	16,67 ± 12,83	20,00 ± 33,97	30,00 ± 28,91
67	30,00 ± 7,50	35,83 ± 10,10	15,83 ± 5,20	19,17 ± 2,89	12,50 ± 33,97	17,50 ± 28,91

Nitrogênio total (%)						
Espécimes enterrados (n=3)		Espécimes expostos (n=3)		Solo Controle (n=14)		
Dias após o óbito	Profundidade		Profundidade		Profundidade	
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm
0	0,041 ± 0,014	0,042 ± 0,003	0,075 ± 0,017	0,062 ± 0,007	0,079 ± 0,009	0,065 ± 0,013
3	0,089 ± 0,004	0,074 ± 0,013	0,105 ± 0,027	0,067 ± 0,002	0,087 ± 0,009	0,067 ± 0,013
6	0,078 ± 0,013	0,089 ± 0,015	0,118 ± 0,008	0,071 ± 0,003	0,090 ± 0,009	0,069 ± 0,013
9	0,131 ± 0,024	0,128 ± 0,031	0,117 ± 0,014	0,086 ± 0,016	0,087 ± 0,009	0,067 ± 0,013
12	0,070 ± 0,006	0,068 ± 0,019	0,138 ± 0,014	0,075 ± 0,009	0,096 ± 0,009	0,063 ± 0,013
15	0,099 ± 0,012	0,070 ± 0,025	0,134 ± 0,010	0,058 ± 0,014	0,092 ± 0,009	0,063 ± 0,013
18	0,096 ± 0,014	0,090 ± 0,034	0,130 ± 0,043	0,081 ± 0,017	0,089 ± 0,009	0,060 ± 0,013
21	0,116 ± 0,015	0,099 ± 0,006	0,150 ± 0,030	0,093 ± 0,021	0,087 ± 0,009	0,059 ± 0,013
24	0,126 ± 0,017	0,093 ± 0,022	0,109 ± 0,021	0,078 ± 0,016	0,091 ± 0,009	0,056 ± 0,013
27	0,108 ± 0,019	0,078 ± 0,011	0,132 ± 0,021	0,088 ± 0,031	0,074 ± 0,009	0,091 ± 0,013
30	0,129 ± 0,023	0,077 ± 0,005	0,138 ± 0,020	0,095 ± 0,034	0,089 ± 0,009	0,067 ± 0,013
42	0,128 ± 0,004	0,092 ± 0,012	0,124 ± 0,024	0,084 ± 0,002	0,077 ± 0,009	0,067 ± 0,013
54	0,116 ± 0,022	0,084 ± 0,011	0,111 ± 0,028	0,069 ± 0,014	0,063 ± 0,009	0,061 ± 0,013
67	0,091 ± 0,013	0,070 ± 0,005	0,096 ± 0,026	0,059 ± 0,005	0,073 ± 0,009	0,061 ± 0,013

Nitrato- NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹)						
Dias após o óbito	Espécimes enterrados (n=3)		Espécimes expostos (n=3)		Solo Controle (n=14)	
	Profundidade		Profundidade		Profundidade	
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm
0	4,254 ± 0,954	5,575 ± 3,241	4,903 ± 1,908	4,613 ± 3,564	3,266 ± 15,840	1,584 ± 9,520
3	0,448 ± 0,449	0,351 ± 0,222	0,160 ± 0,112	2,193 ± 2,400	5,137 ± 15,840	2,316 ± 9,520
6	0,419 ± 0,829	0,057 ± 0,046	0,021 ± 0,021	0,043 ± 0,182	15,236 ± 15,840	-16,469 ± 9,520
9	0,082 ± 0,080	0,057 ± 0,039	0,217 ± 0,342	0,065 ± 0,057	42,103 ± 15,840	-3,984 ± 9,520
12	1,777 ± 2,801	0,692 ± 1,068	0,215 ± 0,255	0,505 ± 0,237	5,939 ± 15,840	2,153 ± 9,520
15	0,073 ± 0,052	0,164 ± 0,077	0,700 ± 0,487	1,008 ± 0,616	16,751 ± 15,840	3,662 ± 9,520
18	0,059 ± 0,043	0,192 ± 0,212	0,091 ± 0,035	0,256 ± 0,295	5,812 ± 15,840	3,535 ± 9,520
21	0,072 ± 0,042	0,058 ± 0,046	0,085 ± 0,025	0,259 ± 0,318	8,603 ± 15,840	-9,833 ± 9,520
24	0,085 ± 0,078	0,128 ± 0,151	0,880 ± 0,722	1,723 ± 2,325	54,754 ± 15,840	17,116 ± 9,520
27	0,074 ± 0,022	0,211 ± 0,133	0,191 ± 0,090	0,429 ± 0,462	4,725 ± 15,840	5,739 ± 9,520
30	0,030 ± 0,009	0,024 ± 0,047	1,450 ± 1,820	5,419 ± 9,202	15,100 ± 15,840	19,719 ± 9,520
42	0,010 ± 0,011	0,055 ± 0,120	0,928 ± 0,770	0,465 ± 0,633	2,541 ± 15,840	3,310 ± 9,520
54	0,074 ± 0,154	0,044 ± 0,067	2,596 ± 1,763	3,242 ± 3,786	2,392 ± 15,840	3,699 ± 9,520
67	0,347 ± 0,452	0,848 ± 0,144	17,197 ± 12,527	15,692 ± 8,229	3,851 ± 15,840	12,790 ± 9,520

pH em água						
Dias após o óbito	Espécimes enterrados (n=3)		Espécimes expostos (n=3)		Solo Controle (n=14)	
	Profundidade		Profundidade		Profundidade	
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm
0	4,21 ± 0,16	4,27 ± 0,14	4,16 ± 0,19	4,21 ± 0,15	4,67 ± 0,29	4,44 ± 0,37
3	6,04 ± 0,55	5,92 ± 0,52	5,98 ± 0,42	5,56 ± 0,27	4,35 ± 0,29	4,27 ± 0,37
6	6,63 ± 1,01	6,67 ± 0,65	6,57 ± 0,22	6,04 ± 0,33	4,57 ± 0,29	4,67 ± 0,37
9	7,12 ± 0,32	7,23 ± 0,34	6,86 ± 0,24	6,75 ± 0,06	4,93 ± 0,29	4,88 ± 0,37
12	5,60 ± 0,56	5,56 ± 0,62	6,40 ± 0,19	6,25 ± 0,36	4,55 ± 0,29	4,33 ± 0,37
15	6,51 ± 0,50	6,77 ± 0,56	6,49 ± 0,43	6,22 ± 0,28	4,37 ± 0,29	4,42 ± 0,37
18	6,55 ± 0,28	6,78 ± 0,29	6,73 ± 0,28	6,74 ± 0,04	4,71 ± 0,29	4,69 ± 0,37
21	7,01 ± 0,30	7,05 ± 0,13	7,03 ± 0,25	6,90 ± 0,35	4,79 ± 0,29	4,84 ± 0,37
24	7,05 ± 0,20	6,96 ± 0,54	6,26 ± 0,71	6,10 ± 0,78	4,93 ± 0,29	4,96 ± 0,37
27	6,29 ± 0,50	6,19 ± 0,27	6,58 ± 0,42	6,18 ± 0,29	4,88 ± 0,29	4,99 ± 0,37
30	7,28 ± 0,16	7,24 ± 0,14	6,39 ± 0,51	6,07 ± 1,13	4,72 ± 0,29	4,98 ± 0,37
42	7,38 ± 0,32	6,94 ± 0,21	6,43 ± 0,14	6,36 ± 0,25	5,06 ± 0,29	5,05 ± 0,37
54	6,81 ± 0,34	6,35 ± 0,46	5,53 ± 0,40	4,99 ± 0,19	4,98 ± 0,29	4,79 ± 0,37
67	6,24 ± 0,20	6,38 ± 0,07	4,49 ± 0,80	4,19 ± 0,53	3,98 ± 0,29	3,74 ± 0,37

pH em KCl							
Espécimes enterrados (n=3)			Espécimes expostos (n=3)			Solo Controle (n=14)	
Dias após o óbito	Profundidade		Profundidade		Profundidade		
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	
0	4,66 ± 0,05	4,42 ± 0,11	4,41 ± 0,15	4,53 ± 0,08	4,25 ± 0,33	4,17 ± 0,49	
3	4,71 ± 0,17	5,03 ± 0,23	4,94 ± 0,17	4,89 ± 0,15	4,32 ± 0,33	4,57 ± 0,49	
6	4,97 ± 0,22	5,10 ± 0,13	4,99 ± 0,15	4,59 ± 0,47	4,18 ± 0,33	4,52 ± 0,49	
9	5,42 ± 0,16	5,42 ± 0,09	5,35 ± 0,02	5,29 ± 0,11	4,55 ± 0,33	4,42 ± 0,49	
12	4,69 ± 0,13	4,78 ± 0,18	4,99 ± 0,33	4,99 ± 0,12	4,39 ± 0,33	4,32 ± 0,49	
15	5,10 ± 0,33	5,28 ± 0,33	5,22 ± 0,43	4,88 ± 0,29	4,40 ± 0,33	4,29 ± 0,49	
18	5,01 ± 0,28	5,11 ± 0,10	5,13 ± 0,17	5,15 ± 0,35	4,27 ± 0,33	4,30 ± 0,49	
21	5,53 ± 0,03	5,44 ± 0,03	5,47 ± 0,18	5,19 ± 0,26	4,37 ± 0,33	4,38 ± 0,49	
24	5,71 ± 0,41	5,66 ± 0,52	4,97 ± 0,52	4,82 ± 0,32	3,86 ± 0,33	4,49 ± 0,49	
27	5,02 ± 0,33	4,90 ± 0,12	5,04 ± 0,14	4,93 ± 0,12	4,94 ± 0,33	4,62 ± 0,49	
30	5,46 ± 0,22	5,37 ± 0,23	5,03 ± 0,50	5,44 ± 0,45	4,54 ± 0,33	5,55 ± 0,49	
42	5,44 ± 0,26	5,42 ± 0,17	5,03 ± 0,29	4,76 ± 0,29	4,35 ± 0,33	4,47 ± 0,49	
54	4,48 ± 1,13	4,60 ± 0,89	4,82 ± 0,08	4,76 ± 0,07	4,66 ± 0,33	4,40 ± 0,49	
67	4,07 ± 0,05	4,26 ± 0,12	3,62 ± 0,50	3,69 ± 0,24	3,52 ± 0,33	3,13 ± 0,49	

Potássio – K ⁺ (mg kg ⁻¹)						
Dias após o óbito	Espécimes enterrados (n=3)		Espécimes expostos (n=3)		Solo Controle (n=14)	
	Profundidade		Profundidade		Profundidade	
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm
0	4,37 ± 2,02	7,03 ± 3,62	14,20 ± 10,50	9,20 ± 1,50	11,70 ± 7,95	9,70 ± 3,90
3	74,20 ± 2,83	84,03 ± 10,79	78,95 ± 9,55	36,20 ± 6,36	11,70 ± 7,95	9,20 ± 3,90
6	78,20 ± 0,71	56,20 ± 1,41	98,69 ± 26,42	39,36 ± 5,06	13,70 ± 7,95	9,70 ± 3,90
9	209,44 ± 106,41	181,69 ± 98,39	100,53 ± 22,85	54,36 ± 22,20	15,70 ± 7,95	12,20 ± 3,90
12	126,68 ± 26,13	115,30 ± 11,72	132,03 ± 36,29	57,95 ± 4,60	15,20 ± 7,95	11,70 ± 3,90
15	103,19 ± 15,40	106,44 ± 5,30	95,70 ± 20,51	32,20 ± 17,77	16,70 ± 7,95	10,70 ± 3,90
18	138,69 ± 52,32	139,94 ± 30,05	112,53 ± 17,78	65,20 ± 14,85	18,70 ± 7,95	12,20 ± 3,90
21	119,19 ± 5,50	89,36 ± 10,52	159,53 ± 21,58	51,45 ± 7,42	18,20 ± 7,95	7,10 ± 3,90
24	130,79 ± 41,60	75,80 ± 33,40	57,30 ± 3,54	57,30 ± 26,16	15,56 ± 7,95	7,80 ± 3,90
27	82,80 ± 18,38	50,13 ± 1,53	133,46 ± 27,54	59,46 ± 34,77	13,80 ± 7,95	15,80 ± 3,90
30	152,79 ± 22,60	73,80 ± 12,73	119,29 ± 9,19	70,80 ± 33,94	14,80 ± 7,95	13,07 ± 3,90
42	170,29 ± 19,09	68,80 ± 5,00	147,46 ± 49,21	65,13 ± 6,66	18,80 ± 7,95	7,50 ± 3,90
54	122,29 ± 12,02	69,30 ± 10,61	107,29 ± 6,36	34,46 ± 13,58	9,80 ± 7,95	20,80 ± 3,90
67	91,80 ± 6,08	56,46 ± 15,88	127,13 ± 14,19	58,80 ± 19,00	11,70 ± 7,95	15,80 ± 3,90

Razão C/N						
Espécimes enterrados (n=3)			Espécimes expostos (n=3)		Solo Controle (n=14)	
Dias após o óbito	Profundidade		Profundidade		Profundidade	
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm
0	14,177 ± 1,463	12,922 ± 0,944	14,280 ± 0,550	14,518 ± 0,525	14,084 ± 0,729	13,917 ± 1,706
3	8,957 ± 0,923	8,952 ± 1,323	9,250 ± 0,321	12,384 ± 1,955	14,251 ± 0,729	12,977 ± 1,706
6	8,883 ± 0,679	10,007 ± 1,800	10,441 ± 0,489	11,356 ± 0,670	13,584 ± 0,729	14,007 ± 1,706
9	8,335 ± 2,810	7,502 ± 0,489	10,176 ± 0,426	10,616 ± 1,780	13,189 ± 0,729	12,579 ± 1,706
12	10,237 ± 2,109	11,796 ± 2,309	9,974 ± 0,308	11,445 ± 1,385	14,105 ± 0,729	13,806 ± 1,706
15	7,965 ± 0,290	10,044 ± 2,612	11,254 ± 1,462	11,318 ± 0,956	14,004 ± 0,729	14,195 ± 1,706
18	9,541 ± 1,516	9,353 ± 1,808	11,485 ± 1,261	11,090 ± 0,331	14,738 ± 0,729	13,650 ± 1,706
21	8,512 ± 0,584	8,051 ± 0,280	9,567 ± 0,599	9,976 ± 1,611	13,690 ± 0,729	13,917 ± 1,706
24	8,051 ± 0,262	8,513 ± 1,239	10,423 ± 1,537	10,585 ± 0,898	13,713 ± 0,729	13,224 ± 1,706
27	10,648 ± 2,003	10,758 ± 1,018	10,574 ± 1,482	10,946 ± 0,429	14,474 ± 0,729	12,411 ± 1,706
30	8,168 ± 0,824	8,660 ± 1,376	11,400 ± 1,687	11,725 ± 2,063	13,773 ± 0,729	12,300 ± 1,706
42	9,899 ± 2,161	8,218 ± 0,577	11,147 ± 0,493	10,984 ± 0,452	13,659 ± 0,729	12,441 ± 1,706
54	8,605 ± 1,232	9,316 ± 0,967	12,404 ± 1,317	13,575 ± 0,472	13,526 ± 0,729	14,312 ± 1,706
67	9,985 ± 1,394	10,602 ± 0,994	13,440 ± 1,824	14,256 ± 2,151	16,174 ± 0,729	16,062 ± 1,706

Respiração basal (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ solo hora ⁻¹)									
Espécimes enterrados (n=3)			Espécimes expostos (n=3)				Solo Controle (n=14)		
Dias após o óbito	Profundidade		Profundidade				Profundidade		
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm		10 - 20 cm		0 - 10 cm	10 - 20 cm	
0	11,50 ± 5,44	15,76 ± 6,16	18,53 ± 17,56	13,00 ± 4,95	40,73 ± 227,97	94,00 ± 475,42			
3	696,61 ± 270,58	486,36 ± 422,39	584,43 ± 165,64	793,08 ± 872,55	97,05 ± 227,97	221,45 ± 475,42			
6	226,52 ± 51,88	240,13 ± 169,73	233,40 ± 41,79	52,92 ± 18,31	17,08 ± 227,97	54,59 ± 475,42			
9	395,60 ± 86,41	445,35 ± 172,46	5538,16 ± 1162,41	454,98 ± 590,87	12,21 ± 227,97	30,49 ± 475,42			
12	461,16 ± 400,63	166,79 ± 236,45	943,56 ± 729,78	820,47 ± 680,59	23,07 ± 227,97	21,99 ± 475,42			
15	70,63 ± 26,43	41,41 ± 18,07	46,76 ± 6,54	28,16 ± 22,24	9,81 ± 227,97	17,56 ± 475,42			
18	3313,09 ± 1635,48	3892,31 ± 1679,30	1551,65 ± 916,38	2539,76 ± 1266,75	609,80 ± 227,97	130,52 ± 475,42			
21	2036,80 ± 851,17	1544,63 ± 949,18	1491,39 ± 619,00	988,58 ± 626,29	361,89 ± 227,97	127,18 ± 475,42			
24	1201,56 ± 430,54	1272,85 ± 1068,88	417,43 ± 316,33	621,92 ± 288,37	554,92 ± 227,97	418,81 ± 475,42			
27	119,50 ± 46,09	115,26 ± 72,24	265,97 ± 177,04	171,26 ± 114,51	95,15 ± 227,97	137,21 ± 475,42			
30	62,31 ± 27,21	44,56 ± 10,14	45,84 ± 9,70	46,76 ± 21,68	35,26 ± 227,97	22,30 ± 475,42			

Sódio – Na ⁺ (mg kg ⁻¹)											
Espécimes enterrados (n=3)				Espécimes expostos (n=3)				Solo Controle (n=14)			
Dias após o óbito	Profundidade			Profundidade			Profundidade				
	0 - 10 cm		10 - 20 cm	0 - 10 cm		10 - 20 cm	0 - 10 cm		10 - 20 cm		
0	1,20	± 1,39	2,70 ± 2,74	5,37	± 4,74	2,87 ± 0,83	5,67 ± 1,61	3,90 ± 2,14			
3	35,18	± 0,42	30,91 ± 5,79	37,65	± 9,92	19,28 ± 1,72	6,70 ± 1,61	2,60 ± 2,14			
6	29,65	± 2,55	26,78 ± 6,00	35,55	± 6,39	13,97 ± 2,15	6,40 ± 1,61	2,30 ± 2,14			
9	40,87	± 5,02	48,82 ± 16,93	36,42	± 2,96	17,87 ± 7,05	4,90 ± 1,61	5,10 ± 2,14			
12	22,61	± 3,25	20,41 ± 9,34	42,82	± 8,15	21,04 ± 1,70	4,30 ± 1,61	3,00 ± 2,14			
15	31,76	± 9,41	37,37 ± 0,64	32,81	± 4,10	11,67 ± 4,02	6,70 ± 1,61	3,20 ± 2,14			
18	40,25	± 12,65	34,92 ± 17,51	40,92	± 5,16	18,74 ± 6,83	5,70 ± 1,61	2,50 ± 2,14			
21	35,52	± 4,72	26,81 ± 3,92	47,49	± 8,01	25,68 ± 15,60	4,40 ± 1,61	3,30 ± 2,14			
24	38,68	± 5,80	27,71 ± 7,36	30,85	± 11,08	17,04 ± 10,23	5,30 ± 1,61	4,00 ± 2,14			
27	23,84	± 7,71	20,78 ± 6,04	37,55	± 8,05	22,54 ± 9,83	9,70 ± 1,61	8,50 ± 2,14			
30	37,55	± 5,55	20,44 ± 3,68	31,91	± 10,26	19,41 ± 10,95	5,00 ± 1,61	6,98 ± 2,14			
42	41,07	± 4,03	20,01 ± 6,36	36,92	± 9,33	20,74 ± 0,78	4,90 ± 1,61	1,10 ± 2,14			
54	31,96	± 1,49	17,21 ± 4,56	31,58	± 6,05	13,94 ± 3,47	3,00 ± 1,61	8,00 ± 2,14			
67	27,05	± 1,17	17,51 ± 5,19	33,78	± 6,84	21,48 ± 5,83	5,20 ± 1,61	4,50 ± 2,14			

Umidade (%)						
Espécimes enterrados (n=3)			Espécimes expostos (n=3)		Solo Controle (n=14)	
Dias após o óbito	Profundidade		Profundidade		Profundidade	
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm
0	23,77 ± 0,64	22,95 ± 2,27	22,37 ± 2,14	25,31 ± 4,45	23,49 ± 3,60	23,44 ± 8,20
3	23,96 ± 0,07	24,44 ± 1,01	260,12 ± 347,52	23,03 ± 0,91	24,67 ± 3,60	25,86 ± 8,20
6	33,39 ± 10,91	29,29 ± 3,70	32,15 ± 12,29	24,26 ± 2,34	29,93 ± 3,60	53,01 ± 8,20
9	25,36 ± 1,46	25,76 ± 1,36	27,64 ± 4,63	26,98 ± 4,14	22,85 ± 3,60	22,48 ± 8,20
12	23,37 ± 2,07	24,46 ± 1,29	24,94 ± 1,61	22,92 ± 1,25	24,81 ± 3,60	21,80 ± 8,20
15	24,30 ± 1,97	24,96 ± 0,44	26,79 ± 2,99	22,87 ± 1,35	23,02 ± 3,60	22,16 ± 8,20
18	24,53 ± 3,06	26,45 ± 5,50	26,81 ± 1,01	23,50 ± 1,83	22,68 ± 3,60	22,59 ± 8,20
21	26,36 ± 1,49	23,29 ± 5,91	26,77 ± 3,82	416,63 ± 72,63	23,28 ± 3,60	23,27 ± 8,20
24	23,90 ± 1,10	24,96 ± 1,88	24,54 ± 1,92	23,86 ± 2,41	21,76 ± 3,60	20,39 ± 8,20
27	26,11 ± 3,50	25,36 ± 2,19	27,32 ± 4,06	23,54 ± 5,94	20,76 ± 3,60	21,97 ± 8,20
30	27,28 ± 1,87	25,24 ± 0,78	28,21 ± 1,67	26,64 ± 0,39	27,97 ± 3,60	24,24 ± 8,20
42	27,33 ± 0,34	26,24 ± 2,17	29,87 ± 6,66	25,99 ± 2,00	21,91 ± 3,60	21,67 ± 8,20
54	28,76 ± 3,55	24,60 ± 1,71	27,19 ± 2,92	23,25 ± 0,93	33,26 ± 3,60	26,74 ± 8,20
67	26,32 ± 1,95	26,97 ± 6,92	25,44 ± 3,71	24,24 ± 4,52	28,26 ± 3,60	21,63 ± 8,20

Zinco – Zn ²⁺ (mg kg ⁻¹)								
Espécimes enterrados (n=3)			Espécimes expostos (n=3)			Solo Controle (n=14)		
Dias após o óbito	Profundidade		Profundidade		Profundidade			
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm		
0	1,67 ± 1,44	3,33 ± 1,44	5,00 ± 0,00	5,83 ± 1,44	7,50 ± 2,72	2,50 ± 2,98		
3	25,00 ± 6,61	14,83 ± 11,68	32,50 ± 20,00	18,33 ± 8,78	12,50 ± 2,72	12,50 ± 2,98		
6	19,17 ± 7,64	25,00 ± 19,53	64,17 ± 6,29	28,33 ± 6,29	10,00 ± 2,72	7,50 ± 2,98		
9	36,25 ± 30,05	42,50 ± 21,21	93,33 ± 34,67	47,50 ± 13,23	10,00 ± 2,72	7,50 ± 2,98		
12	10,83 ± 3,82	9,17 ± 2,89	95,83 ± 58,59	40,00 ± 19,84	12,50 ± 2,72	7,50 ± 2,98		
15	27,50 ± 28,17	45,00 ± 31,22	80,00 ± 35,36	20,83 ± 7,22	7,50 ± 2,72	10,00 ± 2,98		
18	17,50 ± 4,33	24,17 ± 13,77	43,75 ± 5,30	47,50 ± 29,47	10,00 ± 2,72	5,00 ± 2,98		
21	33,33 ± 10,10	37,50 ± 15,61	96,25 ± 47,73	31,25 ± 5,30	12,50 ± 2,72	2,50 ± 2,98		
24	48,33 ± 22,41	35,83 ± 28,76	39,17 ± 18,76	18,33 ± 11,55	5,00 ± 2,72	2,50 ± 2,98		
27	11,67 ± 3,82	10,00 ± 4,33	134,17 ± 85,60	84,17 ± 79,07	5,00 ± 2,72	7,50 ± 2,98		
30	25,00 ± 13,92	10,83 ± 3,82	68,33 ± 21,26	22,50 ± 17,68	7,50 ± 2,72	7,50 ± 2,98		
42	24,17 ± 20,05	19,17 ± 11,81	70,00 ± 3,54	77,50 ± 54,08	10,00 ± 2,72	7,50 ± 2,98		
54	20,00 ± 9,01	14,17 ± 1,44	79,17 ± 36,60	20,83 ± 12,83	7,50 ± 2,72	7,50 ± 2,98		
67	16,67 ± 7,22	27,50 ± 20,00	74,17 ± 37,11	29,17 ± 14,22	5,00 ± 2,72	5,00 ± 2,98		