

Artigo

Avaliação de Características Químicas do Solo Durante a Decomposição Cadavérica e suas Aplicações à Química Forense

Antonio, A. S.;* de Paula, A. R. U.; Aguiar, A. T. C.; da Costa, L. C. A.;
Keppler, R. L. F.; Bentes, K. R. S.; Wiedemann, L. S. M.

Rev. Virtual Quim., 2018, 10 (3), 574-599. Data de publicação na Web: 1 de junho de 2018

<http://rvq.s bq.org.br>

Evaluation of Soil Chemical Properties During Cadaveric Decomposition and its Applications to Forensic Chemistry

Abstract: The estimation of the Post-Mortem Interval (PMI) is a primordial parameter in the investigation of crimes against life. In tropical climate areas, the cadaveric decomposition occurs in an accelerated form, preventing the PMI estimation by usual methods. Understanding how different circumstances affect the cadaveric composition is very important to develop methods that enable the PMI estimation in several climatic conditions. One of the alternatives, however not much explored in Brazil, refers to the use of soil chemistry for the determination of longstanding PMIs. In this research, variations in soil chemical properties were monitored during swine carcasses cadaverous decomposition in a tropical forest area in order to recognize patterns and evaluate the applicability of these by the criminal expertise. Among the evaluated characteristics are the levels of pH, inorganic nitrogen (ammonia and nitrate), total nitrogen, carbon nitrogen proportion (C: N), exchangeable aluminum, available phosphorus and macro and micronutrients. The results showed distinct variations according to the decomposition phases observed and also to the way the carcasses were deposited in the study environment (above or below the soil), evidencing the possibility of using these variations in the development of models for the prediction of post-mortem intervals lasting up to 67 days.

Keywords: Post-mortem interval; soil chemistry; necrochorume; cadaveric soil.

Resumo

A estimativa do intervalo pós-morte (IPM) é um parâmetro fundamental na investigação de crimes contra a vida. Em locais de clima tropical, a decomposição cadavérica ocorre de forma acelerada, impedindo a estimativa do IPM pelos métodos usuais. Entender como as diferentes circunstâncias afetam a decomposição cadavérica é crucial para o desenvolvimento de métodos que possam estimar o IPM em diversas condições climáticas. Uma das alternativas, porém pouquíssimo explorada no Brasil, refere-se à utilização da química do solo na determinação de IPM longos. Nesta pesquisa, as variações das características químicas do solo foram monitoradas durante a decomposição cadavérica de carcaças suínas em área de mata tropical, a fim de reconhecer padrões e avaliar a aplicabilidade destes pela perícia criminal. Dentre as características avaliadas estão os níveis de pH, nitrogênio inorgânico (amônia e nitrato), nitrogênio total, razão carbono nitrogênio (C:N), alumínio trocável, fósforo disponível e macro e micronutrientes. Os resultados apresentaram variações distintas de acordo com as fases de decomposição observadas e também com a forma com que as carcaças foram depositadas no ambiente de estudo (acima ou abaixo do solo), evidenciando a possibilidade de se empregar estas variações no desenvolvimento de modelos para a previsão de intervalos pós-morte com duração de até 67 dias.

Palavras-chave: Intervalo pós-morte; química do solo; necrochorume; solo cadavérico.

* Universidade Federal do Amazonas, Departamento de química, Instituto de Ciências Exatas, CEP 69077-00 Manaus-AM, Brasil.

✉ ananda.antonio@gmail.com

DOI: [10.21577/1984-6835.20180043](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20180043)

Avaliação de Características Químicas do Solo Durante a Decomposição Cadavérica e suas Aplicações à Química Forense

Ananda da S. Antonio,^{a,*} Andreza da R. U. de Paula,^a Ana Tayná C. Aguiar,^a Larissa Cristine A. da Costa,^a Ruth Leila F. Keppler,^b Karime Rita de S. Bentes,^a Larissa S. M. Wiedemann^a

^a Universidade Federal do Amazonas, Departamento de química, Instituto de Ciências Exatas, CEP 69077-00, Manaus-AM, Brasil.

^b Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Centro de Pesquisa em Entomologia, CEP 69080-971, Manaus-AM, Brasil.

* ananda.antonio@gmail.com

Recebido em 21 de dezembro de 2017. Aceito para publicação em 18 de maio de 2018

1. Introdução

2. Parte experimental

- 2.1. Delineamento experimental
- 2.2. Coleta
- 2.3. Características do solo
- 2.4. Análise estatística

3. Resultados e discussão

- 3.1. Caracterização do sítio experimental
- 3.2. Velocidade de decomposição
- 3.3. Alterações nas características do solo durante a decomposição cadavérica
- 3.4. Aplicações na estimativa do intervalo pós-morte

4. Conclusão

1. Introdução

Em uma investigação de homicídio, existem diversos parâmetros que devem ser determinados para elucidar as causas da morte e indicar suspeitos.^{1,2} Um dos principais parâmetros a serem estabelecidos é o intervalo pós morte (IPM), que é definido como o tempo decorrido desde o óbito da

vítima até a descoberta do cadáver, o qual pode auxiliar na identificação de suspeitos, corroboração de testemunhos e na elaboração da dinâmica de fatos.^{2,3}

Entre as técnicas mais utilizadas para estimar o IPM estão a entomologia forense (análise dos insetos necrófagos que colonizam o cadáver)² e a observação das fases de decomposição cadavérica.³⁻⁵ Estas fases podem ser resumidas em 6 estágios

principais de ocorrência comum: (i) fresca, na qual não há liberação de necrochorume; (ii) enfisematosa, caracterizada pela formação de ácidos orgânicos, gases e aminas biogênicas, sem a liberação destas para o meio; (iii) coliquativa na qual ocorre o extravasamento de grandes quantidades de necrochorume para os arredores da carcaça, devido a ruptura da pele; (iv) saponificação, identificada pela formação de uma camada de sais de ácidos graxos (sabão), junto às regiões com maior acúmulo de triglicerídeos no cadáver; (v) esqueletização, onde não há produção de necrochorume, porém as estruturas ósseas começam a se degradar; (vi) restos, caracterizada pela liberação de minerais presentes nos tecidos mais resistentes.^{1,3}

O uso das técnicas supracitadas pode ter sua exatidão comprometida por dois fatores: o deslocamento do corpo da vítima^{2,4} e as características ambientais do local de deposição.^{1,6,7} Esses fatores afetam a taxa de decomposição e a colonização de insetos, podendo causar estimativas incorretas do IPM,^{7,8} sendo necessário estudos adicionais focados na compreensão dos processos de decomposição em diferentes condições.^{1,3,6,9}

A forma de deposição do cadáver no solo também interfere no processo de decomposição, visto que, dependendo de como este é depositado pode ocorrer a formação de microclimas em seu perímetro.^{1,10,11} Quando o corpo está disposto abaixo do solo, o processo de decomposição é retardado devido à temperaturas mais baixas sob o solo, modificações na umidade do ar, ausência de insetos e propriedades químicas e microbiológicas do solo.^{1,9,12,13}

Quando a decomposição ocorre acima do solo de forma rápida o uso da entomologia forense para estimar IPMs longos se torna impreciso, visto que os artrópodes necrófagos abandonarão rapidamente o cadáver. Por outro lado, quando a decomposição ocorre abaixo do solo, a desaceleração do processo de decomposição torna difícil a identificação das fases de decomposição.^{7,10,14}

Como alternativa a estas questões, pesquisas sobre o efeito da decomposição no solo^{6,11,12,15,16} demonstram que as alterações em suas propriedades, causadas pelo fluido gerado durante a decomposição cadavérica, podem ser utilizadas para estimar IPMs longos.

No solo, a percolação deste fluido, denominado necrochorume, gera um grande fluxo de nutrientes ao redor do cadáver, como demonstrado em estudos anteriores,^{1,10,15,17,18} onde a decomposição de uma carcaça suína com cerca de 68 kg ocasionou acréscimos de aproximadamente 300 µg de K⁺, 50 µg de Ca²⁺, 10 µg de Mg²⁺ e 110 µg de nitrogênio inorgânico por grama de solo.

Tendo em vista as diferenças climáticas entre os países onde esta área de estudo está em desenvolvimento e levando em consideração que no Brasil não há relatos de estudos relacionados à análise do solo para a estimativa do IPM, esta pesquisa teve como objetivo avaliar as modificações nas características químicas do solo (pH, amônia, nitrato, nitrogênio total, carbono total, razão C:N, macro e micronutrientes) abaixo de carcaças suínas em decomposição, em uma área de floresta tropical e avaliar as possíveis aplicações destas alterações na estimativa do intervalo pós-morte em casos de homicídio com ocultação de cadáver.

2. Parte experimental

2.1. Delineamento experimental

A pesquisa foi realizada na Reserva Florestal Adolpho Ducke (02°55'01''S e 59°53'59''W), no estado do Amazonas, Brasil. O sítio experimental corresponde a uma floresta primária de clima tropical com latossolo argilo-arenoso.¹⁹

Foram utilizados 6 suínos (*Sus scrofa* L.) de aproximadamente 15 kg, os quais foram eutanasiados no sítio experimental por disparo de arma de fogo, utilizando projétil

com diâmetro de 7,11 mm, na região occipital de acordo com as recomendações do Conselho Federal de Medicina Veterinária do Brasil e aprovação do Comitê de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal do Amazonas (protocolo 007/2014-CEUA/UFAM).

Antes da eutanásia dos espécimes suínos, foram pré-estabelecidos 6 locais com 1,30 m de comprimento e 0,60 m de largura, para posterior deposição de cada espécime. A distância entre os locais selecionados foi de 10 m, para evitar a contaminação de cada local por necrochorrume proveniente de mais de uma carcaça.⁶ Além destes, um sétimo local foi selecionado para a coleta de amostras Controle, solo não submetido à decomposição cadavérica, para obtenção de

um material testemunho das alterações naturais do solo durante o experimento. As amostras de solo dos 7 locais selecionados foram coletadas antes da eutanásia dos suínos, de forma a obter uma caracterização de cada ponto em condições naturais, sendo esta coleta denominada de Dia 0 (dia zero).

Após o óbito os espécimes foram divididos igualmente em dois grupos. Os espécimes do Grupo 1 foram depositados na superfície do solo, sobre telas de proteção flexíveis, para o posterior manuseio dos suínos, e dentro de uma jaula protetora de aço galvanizado com 0,15 m de abertura de tela (Figura 1). Os espécimes do Grupo 2 foram soterrados em covas com profundidade aproximada de 0,50 m, também sobre telas de proteção.

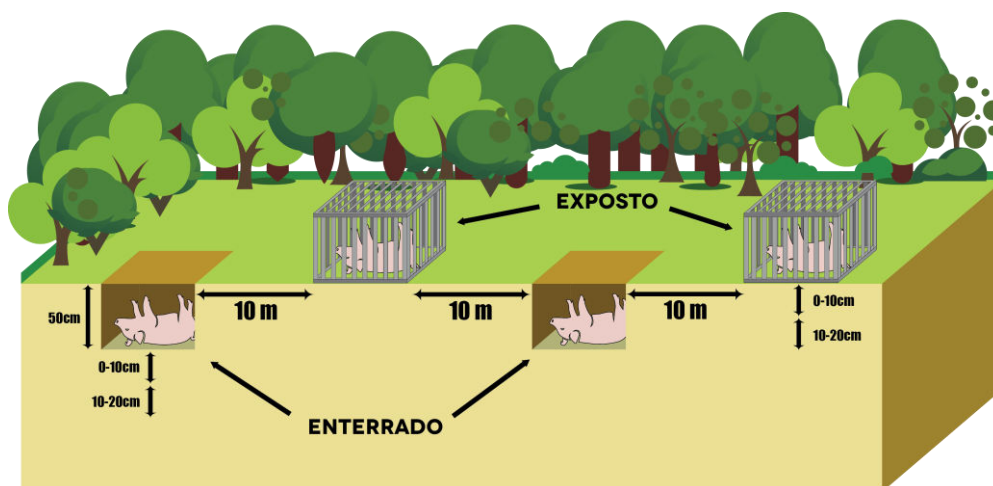


Figura 1. Croqui da disposição do experimento no sítio experimental

2.1. Coleta

A coleta do solo foi realizada utilizando um trado holandês de aço inoxidável. De

cada ponto de coleta foram retiradas 3 porções de solo, para produção de uma amostra composta²⁰ para cada uma das profundidades estudadas (0 – 10 cm e 10 – 20 cm), conforme ilustrado na Figura 2.

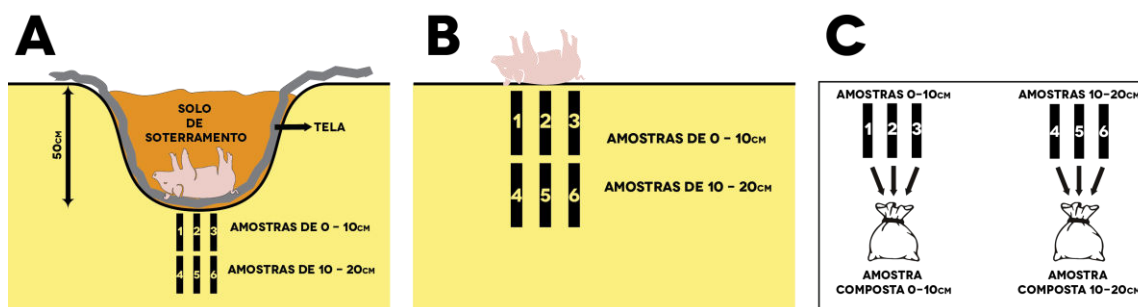


Figura 2. Esquema das profundidades de coleta do solo nos (A) suínos enterrados, (B) suínos expostos e (C) formação das amostras compostas de solo para cada profundidade

Durante a coleta do solo as carcaças foram retiradas do local de deposição inicial, sendo realocadas, após a coleta, na mesma posição em que estavam inicialmente. Posteriormente, cada amostra de solo foi acondicionada em sacolas plásticas estéreis e mantidas sobre refrigeração (4°C) até que fossem destinadas às análises químicas²⁰. A frequência na qual foram realizadas as coletas foi de 72 horas a contar do momento de abate dos suínos, até que completasse um total de 67 dias.

As fases de decomposição de cada espécime foram determinadas por observação visual.³ Para os espécimes do Grupo 1 (expostos) este procedimento foi realizado duas vezes por dia, enquanto que para os espécimes do Grupo 2 (soterrados) a determinação das fases de decomposição foi realizada apenas no momento das coletas de solo, de forma a minimizar possíveis alterações no processo de decomposição decorrentes da manipulação das covas.

2.3. Características do solo

Todas as amostras coletadas foram destinadas à determinação do pH em água e KCl, alumínio trocável (acidez trocável), nitrogênio inorgânico (NH_4^+ e NO_3^-), nitrogênio total, carbono total, razão C:N, macronutrientes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+), fósforo disponível e micronutrientes (Cu^{2+} , Zn^{2+} e Mn^{2+}).^{21,20}

Dentre as análises, apenas o nitrogênio inorgânico foi determinado utilizando solo

fresco. Para os demais parâmetros as amostras foram secas em casa de vegetação, trituradas e peneiradas para obtenção de partículas com diâmetro de 2 mm, produzindo amostras de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). Para a caracterização da classe textural foi realizada a análise granulométrica das amostras do Dia 0, pelo método de dispersão total.²¹

A determinação do pH em água e KCl foi realizada pelo método potenciométrico, preconizado pela Embrapa,²⁰ empregando um pHmetro AT-315, ALFAKIT. O nitrogênio inorgânico e os cátions Al^{3+} , Ca^{2+} e Mg^{2+} foram extraídos com solução de KCl 1 mol L⁻¹, sendo a determinação de alumínio realizada pelo método volumétrico empregando solução de hidróxido de sódio 0,025 mol L⁻¹.²⁰ Para as determinações de cálcio e magnésio foi empregada a técnica de espectrofotometria de absorção atômica com ionização em chama,²⁰ utilizando um espectrofotômetro modelo ICE 3000 da Thermo Scientific. Para determinação do nitrogênio inorgânico foi utilizado o método de Kjeldahl.²⁰

A determinação do nitrogênio total, carbono total e razão C:N foi realizada pelo método de combustão por via seca das amostras de TFSA com tamanho de partículas em 8 µm, utilizando um Analisador Elementar Vario Max CN, Perkin Elmer, de acordo com as recomendações do fabricante do equipamento.²²

A extração de sódio, cobre, zinco, manganês, potássio e fósforo disponível foi realizada com emprego da solução extratora

Mehlich-1 ($\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$).²⁰ Com exceção do fósforo disponível, os teores dos cátions foram obtidos pela técnica de espectrofotometria de absorção atômica em chama²⁰ empregando um espectrofotômetro modelo ICE 3000 da Thermo Scientific.

A concentração de fósforo disponível ($P_{\text{disp.}}$) foi determinada utilizando a técnica de espectrofotometria de absorção molecular na faixa do ultravioleta próximo – luz visível,²⁰ no comprimento de onda de 660 nm em espectrofotômetro UV MINI 1240 Shimadzu, Perkin Elmer.

2.4. Análise estatística

A análise estatística foi realizada utilizando o software OriginPro 9.0, através do qual os dados foram submetidos à análise descritiva, sendo obtidos os valores médios e desvios-padrão para cada coleta; ao teste de Shapiro-Wilk para análise da normalidade; aos testes Anova one-factor e de Mann-Whitney, para avaliação da heterogeneidade das amostras; e à análise multivariada dos dados obtidos pela Análise dos Componentes Principais (PCA) e Análise Hierárquica de Agrupamentos (HCA). O nível de significância

utilizado durante o tratamento estatístico foi de 0,05.

3. Resultados e discussão

3.1. Caracterização do sítio experimental

As condições climáticas do sítio experimental durante esta pesquisa podem ser observadas na Figura 3.

As características do solo no sítio experimental antes da inserção das carcaças em decomposição podem ser observadas na Tabela 1. O solo do local apresentou uma baixa fertilidade, típica da região Amazônica^{23–26}, em ambas as profundidades de estudo, evidenciada pelos baixos níveis de cátions trocáveis, altos teores de alumínio trocável e elevada acidez. Essas características são um indicativo da baixa reatividade do solo, no que diz respeito sua capacidade de troca catiônica, fato observado com frequência no solo da região amazônica, com alto índice de intemperismo devido a sua idade geológica.

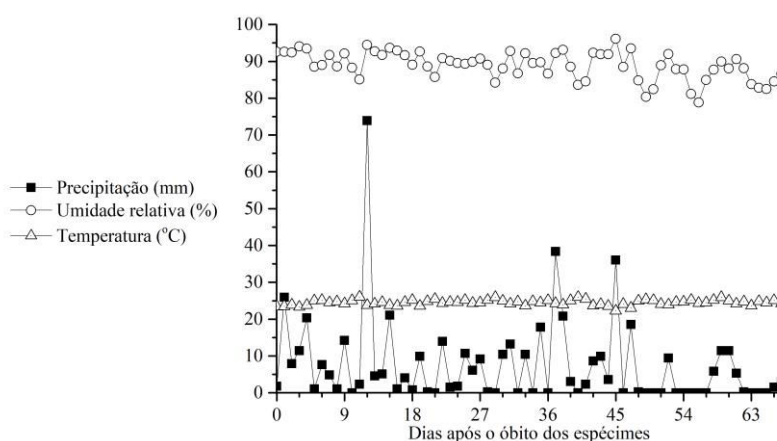


Figura 3. Condições climáticas do sítio experimental durante a decomposição cadavérica dos espécimes suínos

Tabela 1. Características do solo no sítio experimental

Prof. (cm)	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cu ²⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	P _{disp.}	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	Ct	Nt	C:N	
																	mg kg
0 a 10	Média (n = 7)	4,25	4,75	66,42	5,57	4,33	9,62	3,63	0,07	23,21	3,92	0,81	6,12	4,39	0,89	0,06	14,07
	Variância (ANOVA)	0,05	0,07	505,10	2,78	1,08	63,11	13,33	0,01	7,73	5,95	0,23	2,21	1,86	0,06	5,04x10 ⁻⁴	0,59
10 a 20	Média (n = 7)	4,27	4,90	58,32	5,85	3,90	8,34	2,94	0,42	23,57	4,28	0,55	5,32	4,94	0,74	0,05	13,74
	Variância (ANOVA)	0,02	0,05	159,72	2,47	0,91	6,64	2,92	0,68	10,11	3,57	0,18	1,52	8,47	0,04	1,41x10 ⁻⁴	1,03

Prof. = Profundidade de coleta; Ct = carbono total; Nt = nitrogênio total.

As características das amostras de Controle (solo não submetido à decomposição cadavérica durante o período do experimento) não apresentaram variações significativas durante o experimento, mantendo valores dentro do observado na Tabela 1. Com isso é possível afirmar que as variações observadas nas características do solo nos demais pontos de coletas estão fortemente relacionadas ao processo de decomposição.

3.2. Velocidade de decomposição

Durante o experimento, os espécimes de cada Grupo de estudo se decomposeram por vias distintas (Figura 4 e 5). Os espécimes suínos do Grupo 1 alcançaram a fase de restos no 18º dia após o óbito (Tabela 2), com a ocorrência da formação de massa larval

(Figura 6) e da fase de saponificação, caracterizada pela formação da adipocere na superfície do cadáver.^{1,27,28}

Os espécimes do Grupo 2, soterrados em covas rasas, necessitaram de 54 dias para atingir a fase de restos (Tabela 2), sem ocorrência da fase de saponificação e com a formação de colônias fúngicas em toda extensão ao redor e abaixo das carcaças, fenômeno não observado no Grupo 1.

A diferente velocidade de decomposição observada entre os Grupos se deve principalmente aos diferentes microclimas impostos às carcaças acima e abaixo do solo. Enquanto o Grupo 1 estava exposto às variações climáticas e ação de insetos necrófagos, o Grupo 2 estava isolado do ambiente pela camada de solo que cobria a cova, tornando os processos de autólise e putrefação mais lentos.²

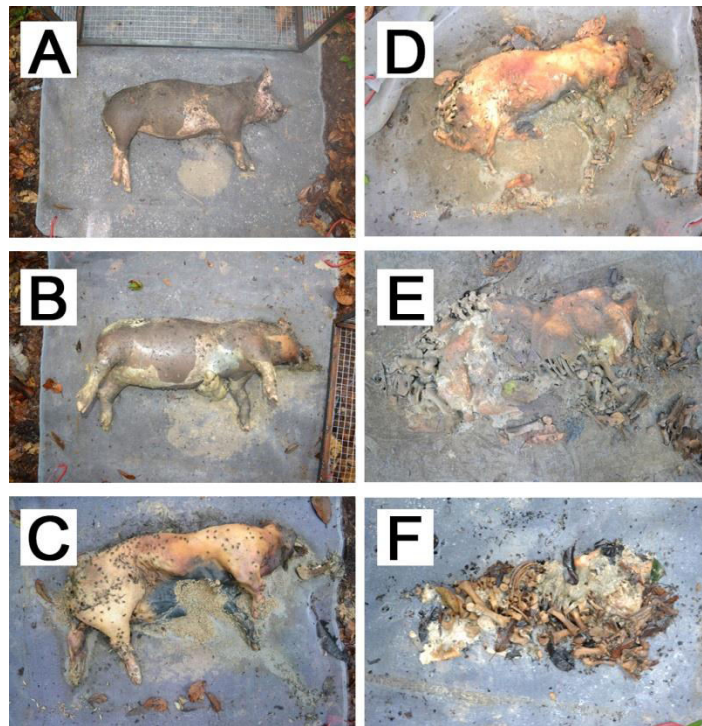


Figura 4. Fases de decomposição observadas no Grupo 1: (a) fase fresca; (b) fase enfisematosa; (c) fase coliquativa; (d) fase de saponificação; (e) fase de esqueletização; e (f) fase de restos

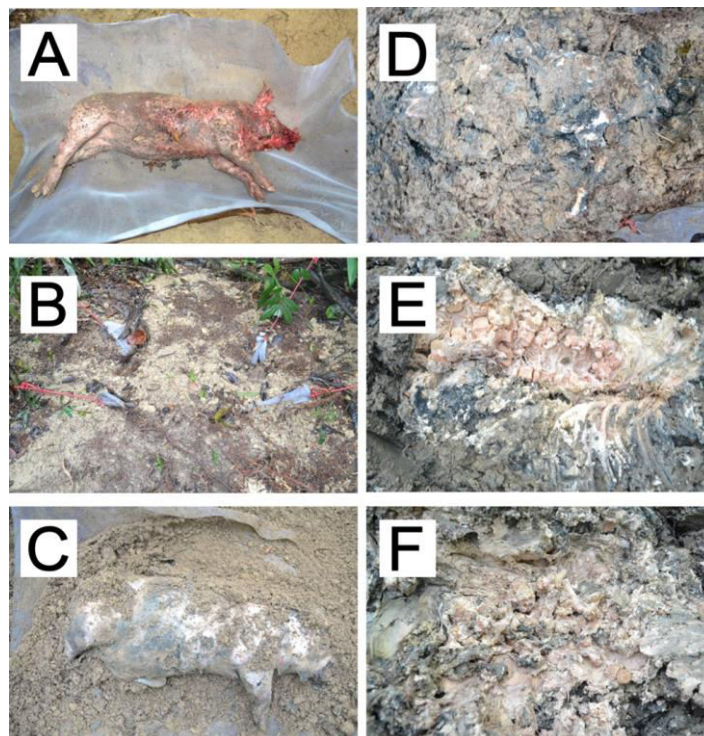


Figura 5. Fases de decomposição observadas no Grupo 2: (a) fase fresca e (b) aparência externa da cova; (c) fase enfisematosa; (d) fase coliquativa; (e) fase de esqueletização; e (f) fase de restos



Figura 6. Massa larval observada em espécimes suínos do Grupo 1.

Tabela 2. Tempo de duração das fases de decomposição cadavérica nos Grupos de estudo

Fases de decomposição	Duração (dias)	
	Grupo 1	Grupo 2
Fresca	1	1
Enfisematose	2	2
Coliquativa	3	39
Saponificação	6	Ausente
Esqueletização	6	12
Restos	12	13

O tempo de decomposição observado foi similar a dados encontrados previamente na Reserva Florestal Adolpho Ducke.^{29,30} Entretanto, este tempo apresenta diferenças ao observado nas regiões Sul³¹ e Sudeste do Brasil,³² onde carcaças suínas similares às utilizadas neste experimento se decompueram em períodos de 14 e 7 dias, respectivamente, sem a ocorrência do processo de saponificação.

A velocidade de decomposição observada durante o experimento, em ambos os Grupos, também ocorreu de forma mais rápida que o observado em países com clima temperado continental, com um velocidade de 4 a 8 vezes mais rápida que o descrito nestas localidades.^{14,17,12,33,8}

3.3. Alterações nas características do solo durante a decomposição cadavérica.

Durante a decomposição cadavérica das carcaças de ambos os Grupos, as amostras coletadas apresentaram um aumento significativo ($\alpha = 0,05$) nos níveis de pH em água (Figura 7A), pH em KCl (Figura 7B), nitrogênio amoniacal (Figura 8A) e nitrogênio total (Figura 8B) em comparação às amostras Controle. Com exceção do pH em KCl, as demais características citadas apresentaram comportamentos distintos ($\alpha = 0,05$) em cada um dos Grupos de estudo (Grupo 1, Grupo 2 e Controle), principalmente a partir do 27º dia após o óbito.

As maiores alterações nos níveis das características químicas supracitadas durante

a decomposição ocorreram na profundidade de 0 a 10 cm. Esse comportamento é devido à relação destas características com compostos catiônicos orgânicos e inorgânicos de baixa mobilidade em solos com frações argilosas elevadas.³⁴ A mobilidade reduzida

dos compostos orgânicos nitrogenados ainda é evidenciada pelo fato de que os teores de nitrogênio total na profundidade de 10 – 20 cm não apresentaram diferença significativa ($\alpha = 0.05$) com relação ao solo controle.

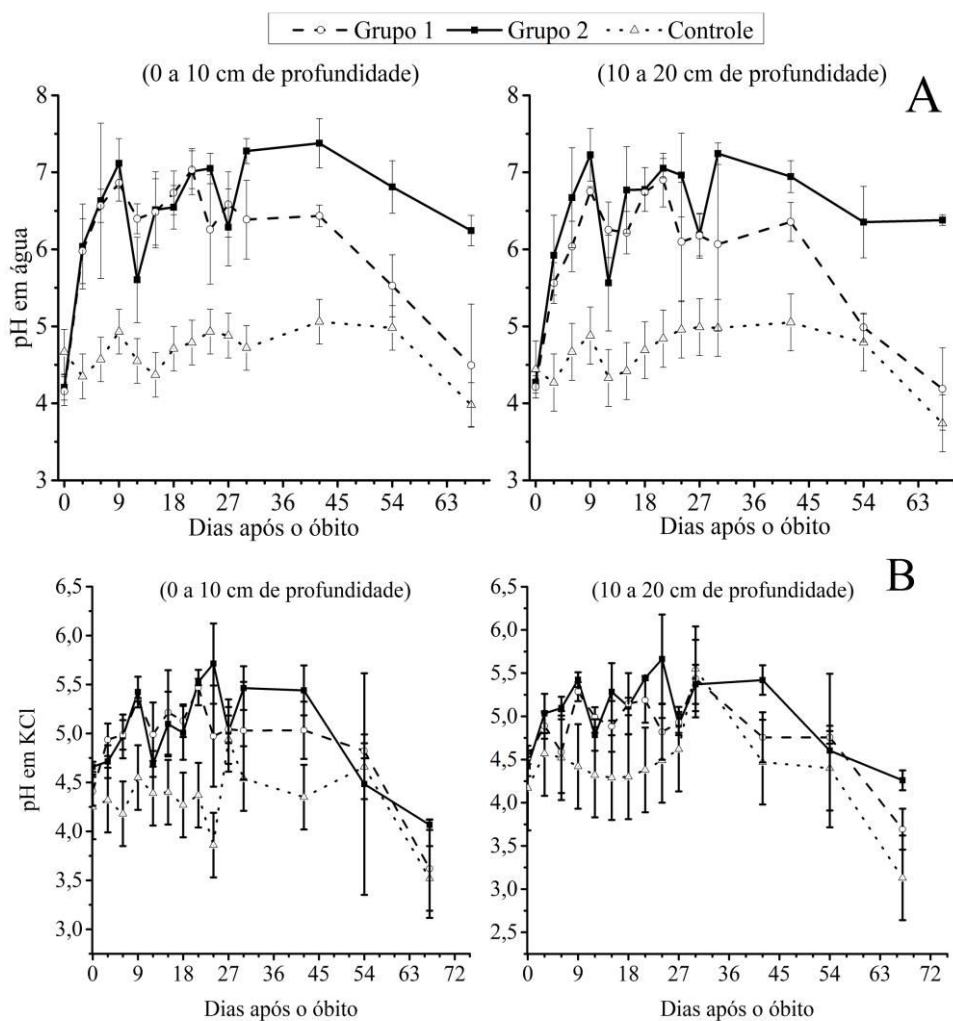


Figura 7. Alterações nas concentrações de pH em água (A) e em KCl (B) durante o experimento

No período após o 27º dia foi observado um decaimento nos níveis de pH em água, NH_4^+ e nitrogênio total do solo no Grupo 1, retornando a valores próximos do observado antes da inserção das carcaças suínas no local. Este resultado pode ser atribuído ao fim da decomposição cadavérica dos espécimes deste Grupo, para os quais o 30º dia após o óbito representou o fim da decomposição (Tabela 2).

O padrão observado nas modificações dos níveis de pH em água já foram descritos por outros autores.^{13,9} A alcalinização inicial, seguida do decréscimo dos níveis de pH, é usualmente atribuída ao aumento no processo de amonificação do solo, evidenciado pelo aumento do nitrogênio amoniacal (Figura 8A); a liberação de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , durante o processo de autólise; e ao acúmulo de ácidos orgânicos durante as fases

de putrefação, que auxiliariam na acidificação do solo, após o termino do processo de decomposição e consequente fim da fonte primária de matéria orgânica para o solo.

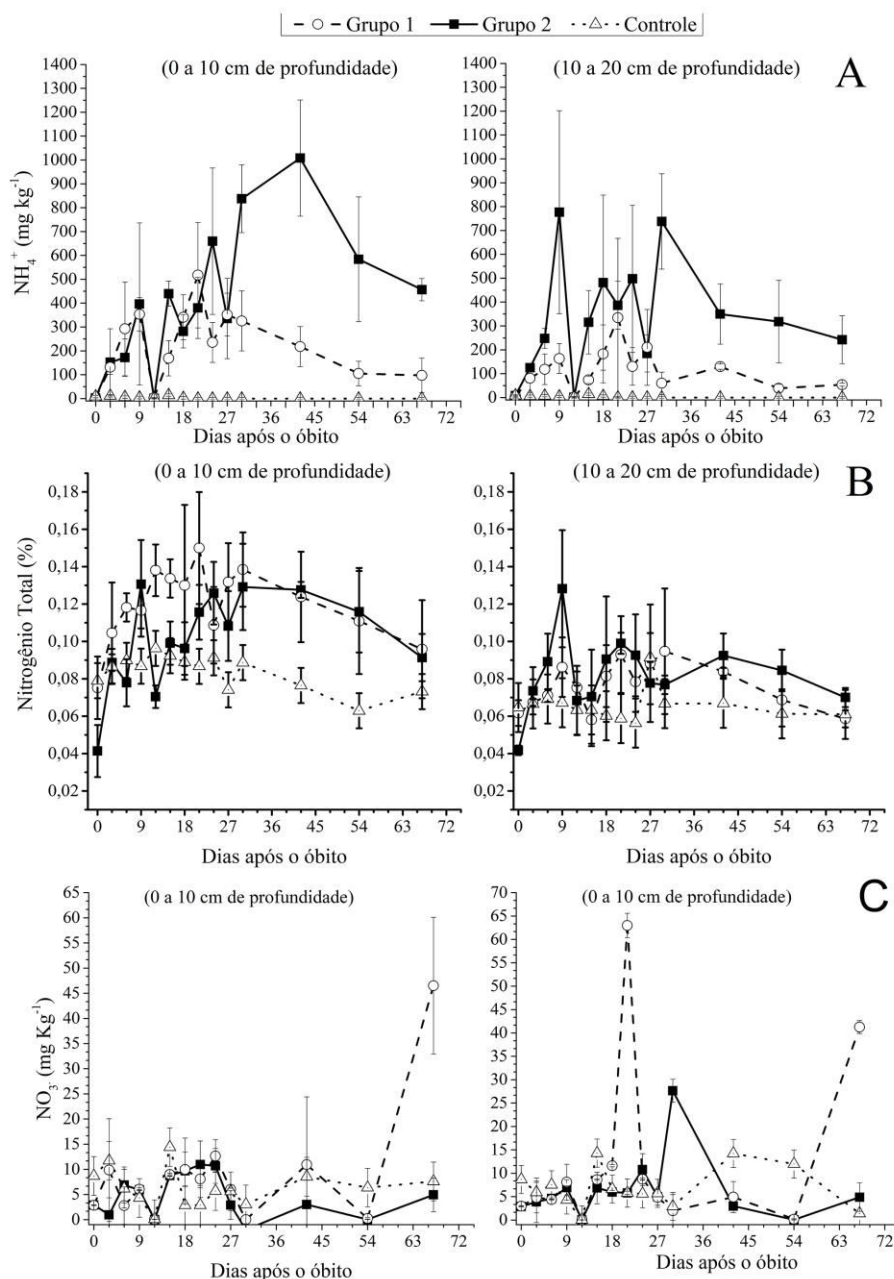


Figura 8. Alterações nas concentrações de amônio (A), nitrogênio total (B) e nitrato (C) no solo durante o experimento

O comportamento distinto nos teores de pH em água, amônio e nitrogênio total observados entre os Grupos 1 e 2 durante o experimento pode ser atribuída à diferença na velocidade de decomposição (Tabela 2), principalmente na fase coliquativa.

A duração da fase coliquativa no Grupo 2 (espécimes soterrados) é o que torna os Grupos distintos entre si, pois, por ocorrer de forma compassada, a liberação de matéria orgânica no solo se torna mais gradual, ocasionando uma manutenção dos níveis de nitrogênio por um período maior (Figura 8A e

B). Também é possível observar que o solo inerente ao Grupo 2 apresentou os teores mais elevados de nitrogênio amoniacal. Este padrão pode estar associado à ocorrência de colônias fúngicas no interior das covas, as quais atuam como uma fonte extra de nitrogênio.¹²

Os teores do íon nitrato no solo dos Grupos 1 e 2 apresentaram um decréscimo significativo em comparação aos do Controle (Figura 8C). O decaimento destes teores está relacionado à presença da carcaça suína no solo, a qual inibe a atividade das bactérias nitrificantes devido ao processo de alcalinização e a diminuição da difusão de oxigênio para o solo, ocasionado pelo acúmulo de necrochorume.^{2,34}

A partir do 30º dia ocorreu um aumento nos teores de NO_3^- no Grupo 1, causando a sua diferenciação em relação ao Grupo 2. O resultado obtido foi decorrente da acidificação do solo após a decomposição cadavérica do Grupo 1, conforme discutido anteriormente. Com o restabelecimento da acidez do solo, se obtém um ambiente com condições favoráveis para a atividade das bactérias nitrificantes presentes no solo, acarretando o aumento observado nos níveis de nitrato. Em vista que o processo de

mineralização inibe a atividade de bactérias nitrificantes, o aumento nos teores de nitrato podem servir como um indicativo do fim da decomposição ativa das carcaças.

O comportamento das espécies nitrogenadas estudadas apresentou dados em magnitude similar ao que já foi relatado por outros autores. Entretanto, a velocidade com a qual os teores variaram nesta pesquisa foi mais rápida que o reportado na literatura.^{2,11,12,15,35} Essa diferença na velocidade pode ser atribuída às condições climáticas do sítio experimental, capaz de acelerar a decomposição cadavérica, e por consequência aumentar a proporção de necrochorume liberado para o solo em um curto período de tempo.

Os teores de alumínio trocável (Figura 9) no solo apresentaram um comportamento análogo ao descrito para o íon nitrato. Este fato ocorre em decorrência da complexação do alumínio com ácidos orgânicos produzidos durante a decomposição cadavérica (tais como ácido acético e os ácidos propanóico, butanóico e pentanóico^{34,36}) e da alcalinização, a qual permite a precipitação do alumínio na fase aquosa do solo para suas formas não trocáveis.

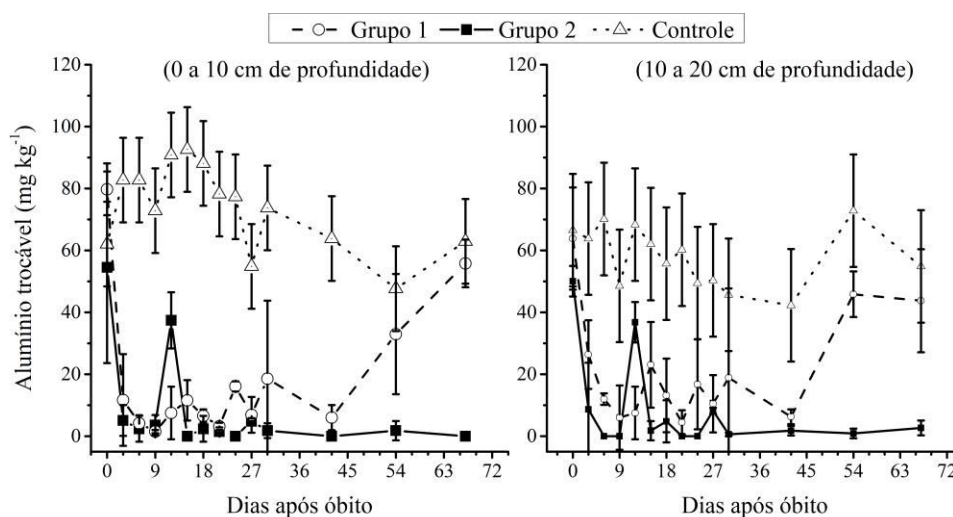


Figura 9. Alterações nos teores de alumínio trocável no solo durante o experimento

O teor de carbono total no solo do Grupo 1 apresentou um comportamento similar ($\alpha = 0,05$) ao observado no Grupo Controle (Figura 10A), porém com uma redução significativa na razão C:N, principalmente na profundidade de 0 a 10 cm (Figura 10B). Estes dados indicam que de fato houve um aumento nos níveis de carbono no solo, apesar de não ter sido mensurado.

No Grupo 2, o carbono total e a razão C:N apresentaram um comportamento diferenciado quando comparado ao Controle. Foi possível observar um aumento significativo ($\alpha = 0,05$) nos teores de carbono total até o 30º dia de decomposição e uma redução em maior intensidade que o observado no Grupo 1, na razão C:N.

Na literatura há divergência a cerca do efeito da decomposição cadavérica nos níveis de carbono total do solo, havendo relatos de comportamentos similares aos observados nos Grupos 1^{6,12} e 2.^{1,11,37} Em casos como o ocorrido no Grupo 1 é atribuído que o carbono liberado pela carcaça em decomposição não seja incorporado ao solo devido ao consumo desta por artrópodes necrófagos e pela biomassa microbiana do solo, o que acarretaria a perda deste carbono na forma de gases.^{6,12}

Por outro lado, as flutuações de carbono total observadas no Grupo 2 são inerentes à decomposição abaixo do solo, onde a anoxia

do solo diminui a atividade microbiana tornando possível a mensuração de variações nos teores de carbono total.^{10,11}

A redução da razão C:N observada nos Grupos 1 e 2 e seu comportamento distinto em relação ao Controle são indicativos do aumento dos níveis carbono e nitrogênio mineralizáveis no solo, assim como seu consumo pela microbiota. A magnitude da redução da razão C:N que diferenciou o comportamento dos Grupos 1 e 2 é atribuída à forma como o carbono liberado pelas carcaças é mineralizado pelo meio. No Grupo 1 parte da matéria orgânica foi consumida por artrópodes e não houve a formação de um ambiente propício à proliferação de colônias fúngicas, originando assim valores de razão C:N acima de 10. Em contrapartida, no Grupo 2 não ocorreu a ação de artrópodes e a partir do 15º dia de experimento foi observada uma ampla colonização de fungos no solo, cujo metabolismo ocasiona a formação de valores de razão C:N inferiores a 9.^{2,34,11}

Visto os efeitos distintos da decomposição cadavérica nos teores de carbono total e razão C:N em função da forma de deposição, estas características demonstram a importância no desenvolvimento de métodos distintos na estimativa do IPM em diferentes condições de deposição.

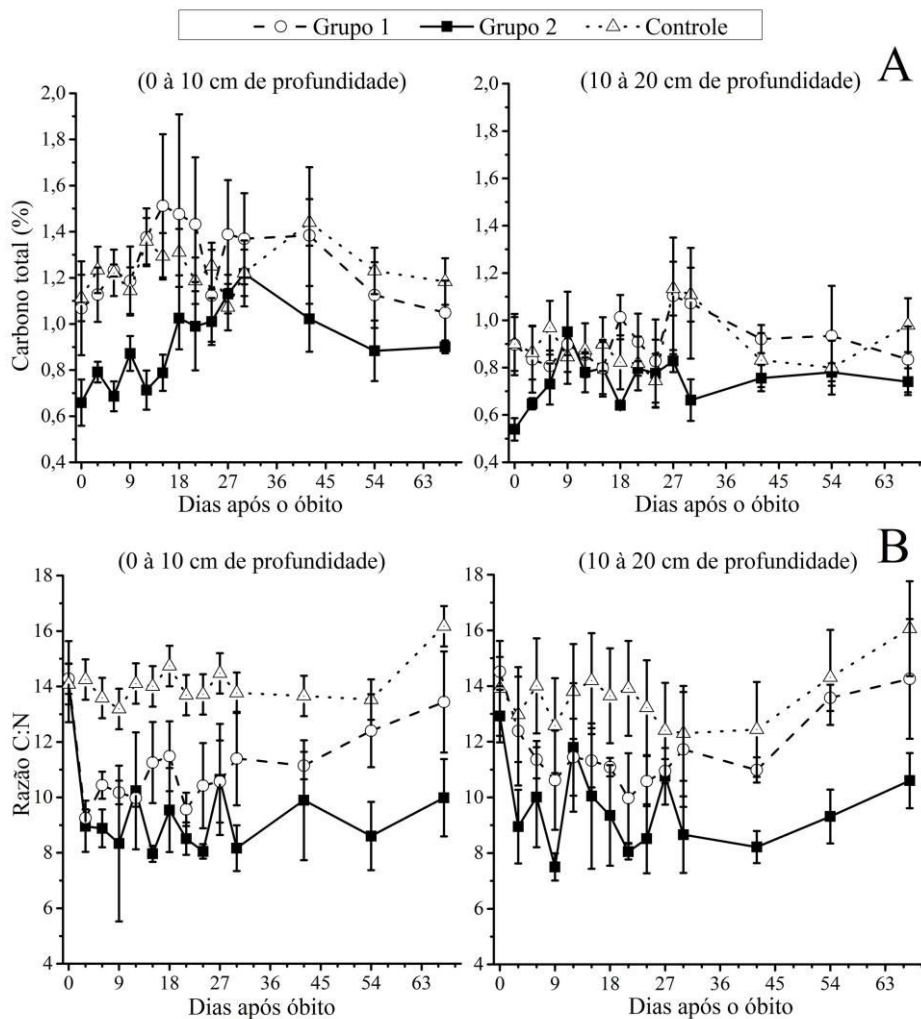


Figura 10. Alterações nos teores de carbono total (A) e razão C:N (B) no solo durante o experimento

Os cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ apresentaram um comportamento distinto durante a decomposição cadavérica em cada um dos Grupos de estudos ($\alpha = 0,05$), em ambas profundidades (Figura 11). As principais alterações ocorreram no início da fase coliquativa, visto que estes minerais são

prontamente liberados pelo tecido mole e pelo interior das células durante a decomposição. Vale ressaltar que, durante o tempo de monitoramento do experimento, no Grupo 1 não foi possível notar a recuperação do solo em relação à estas características.

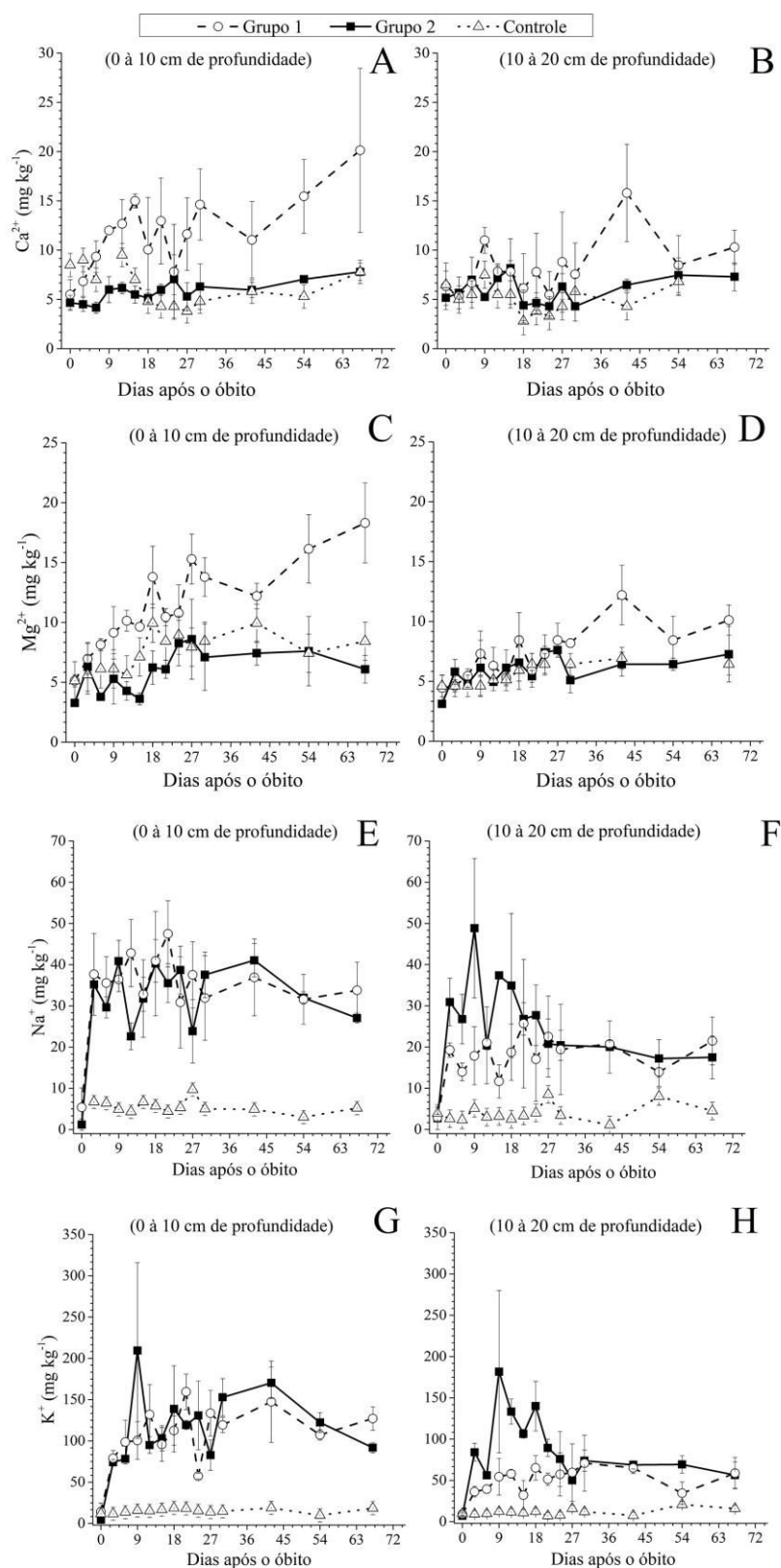


Figura 11. Alterações nas concentrações de cálcio na profundidade de (a) 0 a 10 cm e (b) 10 a 20 cm; magnésio na profundidade de (c) 0 a 10 cm e (d) 10 a 20 cm; sódio na profundidade de (e) 0 a 10 cm e (f) 10 a 20 cm; e potássio na profundidade de (g) 0 a 10 cm e (h) 10 a 20 cm

A distinção, entre os Grupos 1 e 2, nos teores dos cátions supracitados, se deve à habilidade destes em formar complexos solúveis (sódio e potássio) ou insolúveis (cálcio e magnésio) no solo quando expostos à ácidos orgânicos^{34,36} presentes no necrochorume.

Tendo em vista que a interface solo-cadáver é maior nos espécimes do Grupo 2 e sua velocidade de decomposição mais lenta, os ácidos orgânicos presentes no necrochorume se acumulam no solo, tornando a complexação de cálcio e magnésio em suas formas de sais insolúveis favorável, diminuindo assim a variação dos teores destes cátions durante o experimento. Nos espécimes do Grupo 1 essa atividade iônica ocorre de maneira inversa devido ao contato reduzido dos espécimes com o solo, em comparação ao Grupo 2 (suínos soterrados).

Os teores de fósforo disponível e de zinco dos Grupos 1 e 2 apresentaram aumentos significativos em relação ao Controle durante a decomposição ativa da matéria orgânica na fase coliquativa. Com relação ao fósforo disponível, o padrão de variação observado nos Grupos 1 e 2 não foi similar ao presente na literatura sobre as concentrações deste elemento^{6,38-40}, na qual se observa a ocorrência de dois picos máximos de concentração referentes às fases coliquativa e restos.

Como pode ser observado na Figura 12A e 12B, os picos máximos de concentração de fósforo disponível no Grupo 1 ocorreram no 42º dia (profundidade 0 – 10 cm) e 30º dia (profundidade 10 – 20 cm), enquanto que para o Grupo 2 os picos de máxima concentração foram observados nos dias 9

(profundidade 0 – 10 cm) e 24 (profundidade 10 – 20 cm). A discrepância entre os dados encontrados nesta pesquisa e o apresentado na literatura pode ser atribuído à alta velocidade de decomposição observada durante o experimento, a qual não teria permitido a diferenciação da liberação de fósforo pelos processos distintos¹ que ocorreram em cada fase de decomposição.

Entre os micronutrientes avaliados, apenas o zinco apresentou modificações em suas concentrações no solo quando exposto à decomposição cadavérica (Figura 12C e 12D). Entretanto, a utilização deste íon na previsão do intervalo pós-morte ainda deve ser avaliada com mais cautela, visto que na literatura ainda não há registros que comparem o comportamento dos microelementos durante a decomposição cadavérica de humanos e de mamíferos considerados análogos.^{1,9,41-44}

Com relação ao cobre e ao manganês não foram observadas modificações em suas variações durante o experimento, o que pode ser atribuído ao fato de serem micronutrientes, encontrados em pouca quantidade no organismo de mamíferos. Por serem disponibilizados em baixas concentrações para o solo estes não seriam capazes de mostrar alterações mensuráveis durante a decomposição.

Em vista da magnitude das modificações químicas ocasionadas pela decomposição cadavérica, os parâmetros de nitrogênio amoniacal e razão C:N foram os que melhor demonstraram a dinâmica diferenciada da decomposição em função da deposição das carcaças, evidenciando a importância de ambas as formas na construção de modelos preditivos do IPM.

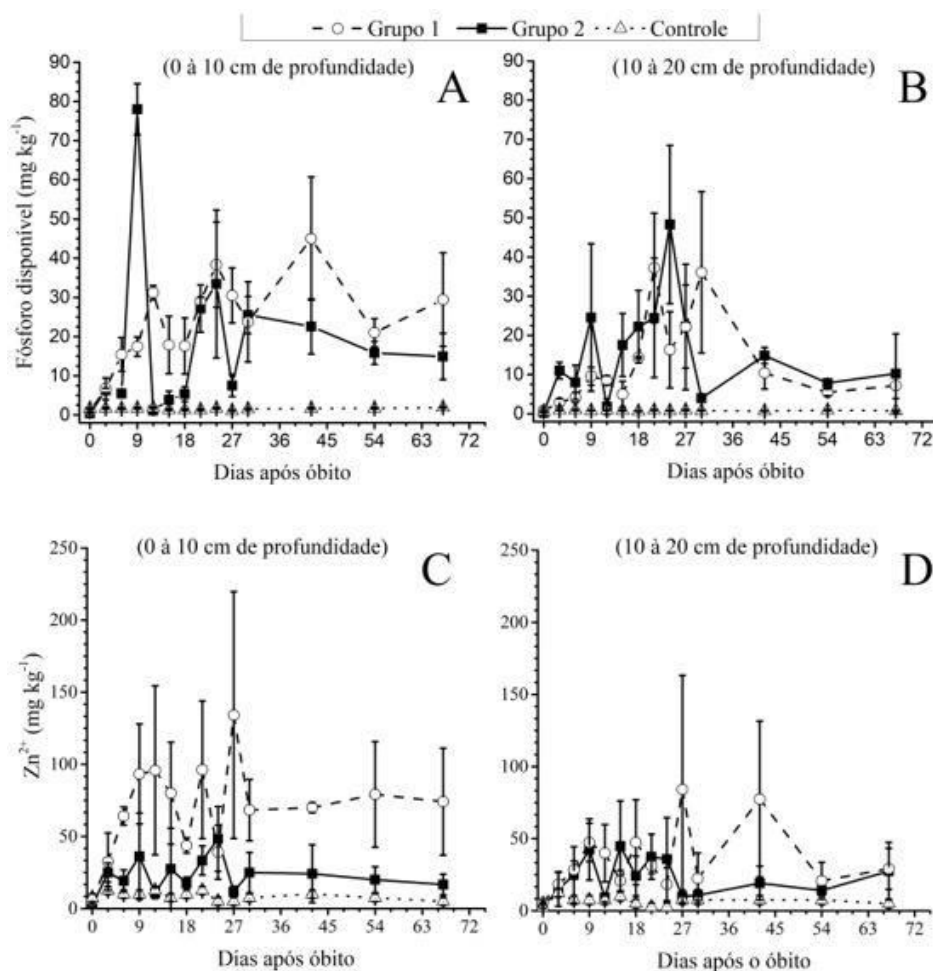


Figura 12. Alterações nas concentrações de fósforo disponível na profundidade de (a) 0 a 10 cm e (b) 10 a 20 cm; e zinco na profundidade de (c) 0 a 10 cm e (d) 10 a 20 cm

3.4. Aplicações na estimativa do intervalo pós-morte

O desenvolvimento de métodos para estimativa do intervalo pós-morte, utilizando características ambientais, depende da seleção e avaliação de variáveis-resposta que se modifiquem em função do tempo decorrido a partir do óbito. Com isso, a avaliação da aplicabilidade das propriedades físico-químicas do solo como variáveis-resposta, foi realizada utilizando apenas os parâmetros capazes de distinguir o solo proveniente dos três tipos de ponto de coleta: amostras pertencentes ao Grupo 1,

Grupo 2 e ao Controle. Desta forma, os teores de carbono total, cobre, manganês e pH em KCl foram excluídos desta etapa e os demais submetidos a análise multivariada.

A Análise de Componentes Principais (PCA) das amostras coletadas na profundidade de 0 a 10 cm é representada na Figura 13, onde se observa a separação de três conjuntos distintos de dados. O Conjunto A compreende todas as amostras de solo provenientes do grupo Controle assim como as referentes à 1ª coleta de solo (antes da inserção dos espécimes em decomposição) abaixo das carcaças dos grupos 1 e 2.

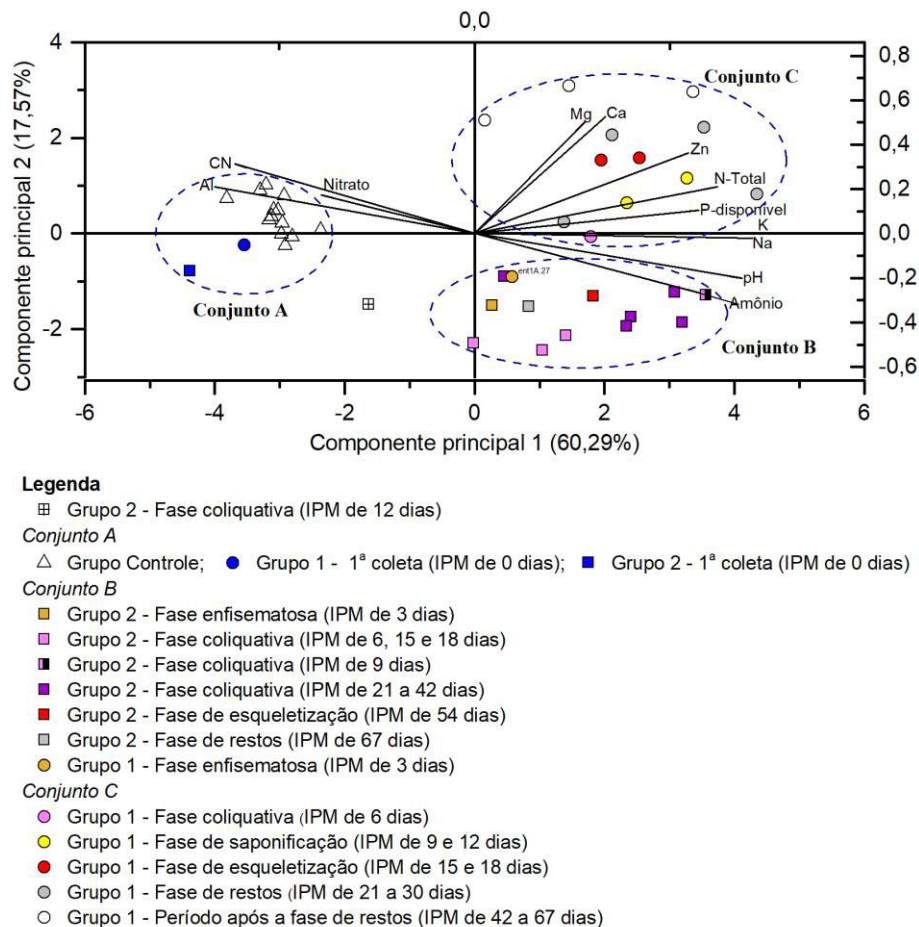


Figura 13. Análise de Componentes Principais dos parâmetros estudados influenciados pela decomposição cadavérica na profundidade de 0 – 10 cm

A reunião de forma compacta das amostras do Conjunto A assim como sua composição, sugerem que houve uma baixa variabilidade nas características físico-químicas do solo no sítio experimental, durante o período de realização do experimento. Esse dado evidencia que as modificações observadas no solo abaixo dos espécimes dos grupos 1 e 2 pode ser associada à decomposição cadavérica.

Os demais conjuntos de dados observados na Figura 13 apresentam uma composição fortemente relacionada à forma de deposição das carcaças, sendo possível observar a separação dos grupos 1 e 2 dentro destes conjuntos. O Conjunto B (Figura 13), representado principalmente pelos altos teores de amônio e pH em água do solo é

constituído por todas as amostras do Grupo 2 (espécimes soterrados) assim como uma amostra relativa à fase enfisematosa dos espécimes do Grupo 1. Esse comportamento pode ser relacionado ao fato de que, todas as carcaças apresentavam-se na mesma fase de decomposição durante a 2ª coleta, referente à fase enfisematosa (Tabela 2).

Esta fase de decomposição pode ter apresentado uma duração igual em ambos os tipos de deposição pelo fato do organismo dos suínos atuar como um isolante das bactérias presentes em seu interior, que são reesponsáveis pela ocorrência desta fase. Como consequência, todos os espécimes podem apresentar a mesma atividade microbiana interna e o mesmo efeito nas características do solo durante esta etapa. Se

estas bactérias fossem influenciadas por fatores externos de temperatura e umidade, suas atividades poderiam ser alteradas de forma a modificar a duração deste estágio de decomposição em função da forma de deposição das carcaças^{7,48}.

O Conjunto C (Figura 13), representado principalmente por amostras com altos teores de cálcio, magnésio e nitrogênio total é constituído exclusivamente por amostras de solo coletadas no Grupo 1 (carcaças expostas). Podendo ser observado que as fases de decomposição com maior extravasamento de matéria orgânica para o solo apresentam-se em posições mais baixas dentro do conjunto, enquanto que as fases finais de decomposição e o período posterior a esta (Tabela 2) estão posicionadas na porção superior do conjunto.

Esta separação evidencia que a distinção das fases de decomposição no Grupo 1 pode ser realizada pelos teores de amônio, cálcio e magnésio. Um comportamento similar é observado dentro do Conjunto B, onde as amostras relacionadas à segunda metade da duração total da fase coliquativa do Grupo 2 (Tabela 2) apresentam-se majoritariamente posicionadas à direita do conjunto. Isso indica a possibilidade da divisão da fase coliquativa neste tipo de deposição em duas etapas, para melhor estimativa do IPM.

A formação dos Conjuntos B e C se deve principalmente à forma distinta com a qual a fase coliquativa e de esqueletização ocorreram. No Grupo 1, a fase coliquativa ocorre de forma rápida, causando uma intensa liberação de compostos nitrogenados. Por outro lado, o mesmo processo ocorre de forma gradual no Grupo 2 devido ao microambiente formado em condições de soterramento, o qual atua como um meio preservativo à matéria orgânica prolongando a fase por 39 dias (Tabela 2).

A fase de esqueletização diferencia estes grupos não somente pela velocidade com que ocorre, mas também pelo período de tempo no qual ela começou. No Grupo 1 esta

fase se iniciou 30 dias antes que no Grupo 2, gerando um perfil de liberação de minerais (constituintes dos ossos) distinto em relação ao Grupo 2, auxiliando assim a formação dos conjuntos observados na Figura 13.

Além das amostras contidas nos conjuntos supracitados, a amostra referente à fase coliquativa do Grupo 2 (carcaças enterradas) não apresentou um comportamento que a enquadrasse em um dos três conjuntos. Esta amostra apresenta-se como um outlier, pois, no dia da coleta (IPM de 12 dias) houve a maior precipitação pluviométrica observada durante o experimento (Figura 1).

Altos índices pluviométricos (acima de 60 mm)⁴⁹ estão associados a uma perda da estrutura superficial do solo devido ao impacto das gotas de água, que ocasionam um aumento na lixiviação dos íons nitrato, da porção solúvel da matéria orgânica e de nutrientes como o nitrogênio e potássio.^{30,49,50} Um agravante a este fenômeno ocorre quando o solo não apresenta cobertura superficial (vegetação) que absorva o impacto da chuva.

No caso do Grupo 2 não havia cobertura superficial devido ao preparo das covas, enquanto que no Grupo 1, a presença das carcaças suínas sobre o solo agiu como uma cobertura protetora. Como a perda destes nutrientes também influencia outras características do solo,^{30,35} também foi observado um comportamento distinto nos níveis de pH em água e alumínio trocável neste dia específico, conforme pode ser observado nas Figuras 7 e 9.

A análise de PCA das amostras na profundidade de 10 a 20 cm é evidenciada na Figura 14, onde pode ser observado a separação de 4 conjuntos de dados. Dentre estes, o Conjunto D apresenta um perfil análogo ao observado no Conjunto A (Figura 13), sendo constituído por: amostras do Grupo Controle, amostras do dia zero dos Grupos 1 e 2, e por amostras de solo do Grupo 1 (espécimes expostos) após a ocorrência da fase de restos (Tabela 2).

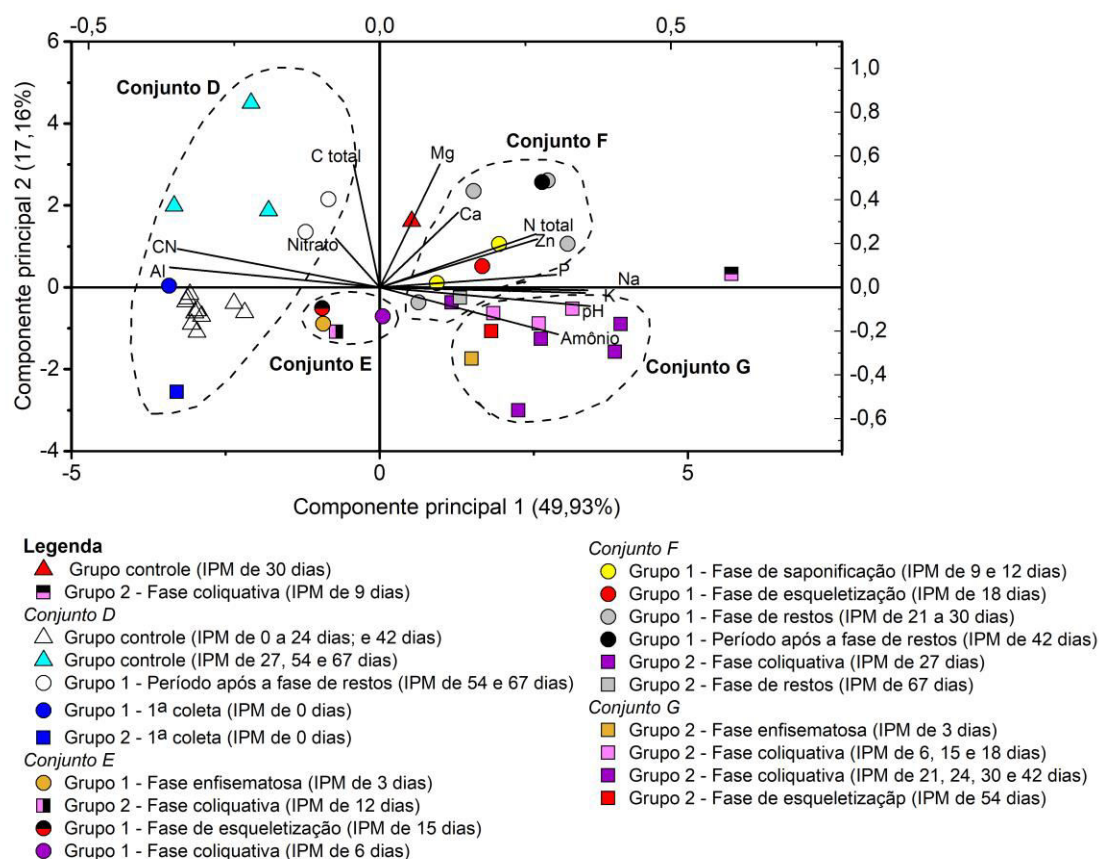


Figura 14. Análise de Componentes Principais dos parâmetros estudados influenciados pela decomposição cadavérica na profundidade de 10 – 20 cm

A composição do Conjunto A e D indica que a capacidade de regeneração do solo na profundidade de 10 a 20 cm foi mais rápida que na de 0 a 10 cm. Esta recuperação acelerada, pode ser atribuída à imobilização da maior parte dos constituintes estudados na camada superior do solo,^{30,35} tornando as modificações nas características químicas do solo em 10 a 20 cm menos brandas.

Dentre as amostras do Grupo Controle, aquela correspondente ao IPM de 30 dias dos espécimes suínos apresentou um comportamento atípico, possivelmente relacionado à variações na microbiota do solo por fatores ambientais ou pela areação ocasionada pelas coletas.^{30,49,50}

Os conjuntos E, F e G são constituídos pelas amostras de solo provenientes dos grupos 1 e 2 durante a decomposição dos espécimes suínos. A formação destes três conjuntos pode ser atribuída tanto ao tipo de

deposição, quanto à fase de decomposição. Sendo que, assim como observado na profundidade de 0 a 10 cm, os teores de magnésio, cálcio e amônio demonstraram ter uma forte correlação na separação destes conjuntos.

No Conjunto E são observadas amostras inerentes às fases enfisematosa, coliquativa e o início da fase de esqueletização do Grupo 1. Este conjunto se caracterizou pela presença de baixos teores de magnésio, cálcio e amônio, visto que durante estas fases e devido ao curto tempo de duração delas (Tabela 2) estes constituintes possivelmente se mantiveram imobilizados nas camadas superficiais do solo.

O Conjunto F (Figura 14) é constituído por amostras do Grupo 1 referentes às fases de saponificação, esqueletização e restos, além de amostras do Grupo 2 pertencentes à fase de restos e à segunda metade da fase

coliquativa. Este conjunto de dados se caracteriza principalmente pelos altos teores de cálcio e magnésio e baixos de teores de amônio. O perfil químico deste conjunto ocorre devido à baixa concentração de ácidos orgânicos, inerentes a fases de decomposição onde não houve extravasamento intenso de necrochorume. A presença de amostras do Grupo 2 neste conjunto de dados poderia ser um indicativo do consumo completo da matéria orgânica após o fim da fase coliquativa, onde é finalizada a emissão de compostos orgânicos mineralizáveis. Com isso, este comportamento poderia ser empregado na delimitação do fim da fase de esqueletização pelas características do solo.

O Conjunto G, constituído apenas por amostras do Grupo 2, é caracterizado principalmente pelos altos teores de amônio, acumulados no solo durante as fases enfisematosa, coliquativa e de esqueletização. Dentro deste conjunto, foi possível observar a separação da fase coliquativa em duas etapas, de forma análoga ao que ocorreu na profundidade de 0 a 10 cm. A distinção deste conjunto apenas com amostras do Grupo 2 se deve não somente ao acúmulo de nitrogênio amoniacal, mas também pelo acúmulo de ácidos orgânicos, conforme discutido previamente.

A amostra relativa à fase coliquativa com IPM de 9 dias do Grupo 2, pode ser observada fora do conjunto, próximo à extremidade direita da Figura 14. Este comportamento pode ser associado à transição das fases enfisematosa e coliquativa, possivelmente de forma mais lenta do que o que ocorre nos espécimes do Grupo 1. Visto os altos teores de nitrogênio

amoniacal nesta coleta, em ambas as profundidades (Figura 8), pode ser proposto que apenas neste IPM houve a ruptura da pele dos espécimes do Grupo 2, o que possibilitaria o extravasamento de maiores quantidades de necrochorume, justificando o comportamento observado nos níveis de nitrogênio amoniacal, razão C:N e pH em água.

Esses dados poderiam indicar que, para os espécimes do Grupo 2 (suínos soterrados), a fase coliquativa poderia ter se iniciado com o IPM de 9 dias, diferente do que foi estabelecido por observação visual. A confirmação destes dados poderia ser feita apenas com estudos posteriores, visando a limpeza e pesagem dos espécimes soterrados durante o processo de coleta do solo, de forma a facilitar a observação de características pós-morte que definem e delimitam cada fase de decomposição.^{7,9,10,51}

Pela Análise de Agrupamento Hierárquico (HCA) foi gerado o dendograma apresentado na Figura 15, onde pode ser observada a formação de 5 clusteres distintos e de composição similar aos agrupamentos observados na análise de PCA (Figuras 13 e 14), corroborando os dados obtidos.

O Cluster A possui composição igual ao observado no Conjunto A (Figura 15), apresentando a amostra referente à 1ª coleta do Grupo 2 posicionada com maior distanciamento das demais. Este fenômeno pode ser associado ao fato que esta coleta foi realizada no interior da cova, em uma profundidade de 50 cm em relação aos demais pontos de coleta, o que justificaria sua composição química relativamente distinta.^{7,30,35}

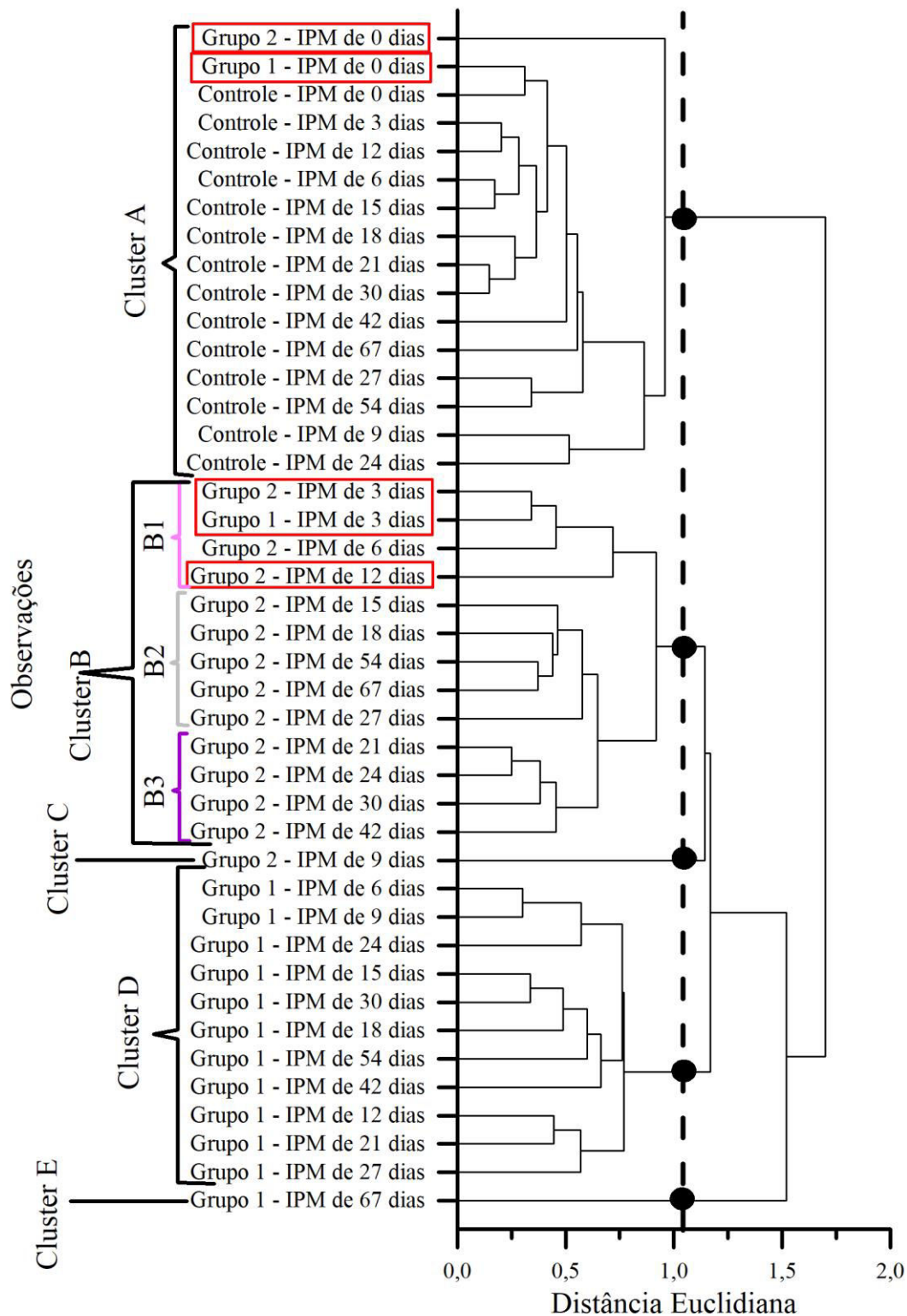


Figura 15. Análise de Agrupamento Hierárquico das amostras de solo coletadas

No Cluster B pode ser observada uma predominância de amostras do Grupo 2, com à presença de uma amostra do Grupo 1

relativa ao IPM de 3 dias em um de seus três subclusters, de forma similar ao que ocorreu no Conjunto B (Figura 13). Ainda no

subcluster B1 há uma amostra com IPM de 12 dias do Grupo 2 com maior distanciamento das demais, as quais estão relacionadas a fase enfisematosa. Este posicionamento evidencia a possibilidade do processo de lixiviação do solo nesta coleta, tendo em vista que a mesma apresentou similaridade com amostras da fase enfisematosa, onde não há extravasamento de necrochorume para o solo. Os subclusters B2 e B3 dividem a fase coliquativa em duas metades conforme discutido nos Conjuntos B (Figura 13) e G (Figura 14).

Os Clusters C e E contêm cada um apenas uma amostra, de comportamento distinto relacionado às demais. No Cluster C é destacada a amostra do Grupo 2 com IPM de 9 dias, a qual foi evidenciada também durante a análise de PCA como uma possível delimitadora do fim da fase enfisematosa e início da fase coliquativa nos espécimes soterrados.

No Cluster E a amostra destacada é inerente ao Grupo 1 com um IPM de 67 dias, referente ao período posterior ao fim da decomposição dos espécimes. Apesar desta amostra ser categorizada de forma distinta nas análises de PCA, estando presente nos Conjuntos C (Figura 13) e D (Figura 14), seu posicionamento separado no dendograma pode ser relacionado à um momento de transição entre o solo com um perfil contaminado por necrochorume e aquele com características químicas naturais do sítio experimental.

Para o Cluster D, constituído por amostras do Grupo 1 (espécimes expostos), as fases de decomposição não apresentaram subclusteres concisos em função das fases de decomposição. Isso pode ser atribuído à velocidade com que cada fase de decomposição ocorreu em um período total de 12 dias. Nesta velocidade, a periodicidade de coletas a cada 3 dias ocasionou a representação das fases enfisematosa e coliquativa por apenas 1 coleta, enquanto que as fases de saponificação e esqueletização por 2 coletas cada, diferente do que ocorreu para os espécimes do Grupo 2, onde a fase coliquativa foi representada

por 10 coletas devido sua longa duração (Tabela 2). Com isso a velocidade de decomposição pode ter comprometido a resolução desta análise e afetado a formação dos subclusters.

4. Conclusão

A dinâmica dos nutrientes no solo exposto à decomposição cadavérica ocorre de maneira diferenciada de acordo com a forma de deposição do cadáver, apresentando variações nas suas concentrações em função do tempo, em um intervalo de 67 dias, principalmente na profundidade de até 10 cm abaixo da carcaça.

O período de tempo avaliado neste estudo pode ser utilizado como complementação na perícia técnico-científica realizada no Brasil, visto que, devido à aceleração da decomposição cadavérica pelas condições climáticas, a determinação de intervalos pós-morte longos (acima de 7 dias) não é possível pelas técnicas usualmente aplicadas e desenvolvidas no país, as quais são baseadas na análise de fluídos e da entomofauna associada. Através do uso das técnicas de HCA e PCA foi possível classificar as amostras de solo de acordo com as fases de decomposição, e em subetapas dentro destas com intervalos menores de tempo, demonstrando que o uso das características do solo poderia aumentar a exatidão de estimativas de IPMs longos.

As diferenças encontradas na dinâmica dos nutrientes, em função das formas de deposição, evidencia a necessidade de estudos similares ao desenvolvido durante as demais estações climáticas do país. Ressaltando que, até onde temos conhecimento não há estudos similares em desenvolvimento no Brasil, com enfoque nas alterações químicas do solo.

Os dados obtidos nesta pesquisa podem ser utilizados como base para estudos posteriores na área de tafonomia forense, ainda pouco explorada no Brasil, de forma a possibilitar a elaboração de uma equação

preditiva do IPM em cadáveres humanos. Entre os fatores que necessitam ser avaliados para tornar isso possível, podemos destacar a avaliação das alterações aqui descritas em outras estações climáticas, utilização de espécimes suínos com peso aproximado ao de um ser humano adulto (67 kg), e avaliação da variância dos resultados perante análise de um número maior de indivíduos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEAM, CNPq, CAPES e UFAM pelo suporte financeiro para realização desta pesquisa; à UFAM e INPA pela disponibilização da infraestrutura necessária; aos alunos, pesquisadores e professores do grupo de pesquisa NEFA e do INPA pela assistência na produção deste trabalho.

Referências Bibliográficas

- ¹ Tibbett, M.; Carter, D. O.; *Soil Analysis in Forensic Taphonomy: Chemical and Biological Effects of Buried Human Remains*, CRC Press: New York, 2008.
- ² Tomberlin, J. K.; Benbow, M. E.; *Forensic Entomology: International Dimensions and Frontiers*, 1a. ed, CRC Press: Texas, 2014.
- ³ Christensen, A. M.; Passalacqua, N. V.; Bartelink, E. J.; *Forensic Anthropology: Current Methods and Practice*, 1a. ed, Academic Press: Amsterdam, 2014.
- ⁴ Oliveira-Costa, J.; *Entomologia Forense: quando os insetos são os vestígios*, 3a. ed, Millennium Editora: Campinas, 2011.
- ⁵ 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* **2013**, *226*, 298. [[CrossRef](#)]
- ⁶ Benninger, L. a.; Carter, D. O.; Forbes, S. L. The biochemical alteration of soil beneath a decomposing carcass. *Forensic Science International* **2008**, *180*, 70. [[CrossRef](#)]
- ⁷ Tumer, A. R.; Karacaoglu, E.; Namli, A.; Keten, A.; Farasat, S.; Akcan, R.; Sert, O.; Odabaşı, A. B. Effects of different types of soil on decomposition: An experimental study. *Legal Medicine* **2013**, *15*, 149. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ⁸ 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* **2015**, *17*, 34. [[CrossRef](#)]
- ⁹ 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 climes using three contrasting field sites. *Forensic Science International* **2007**, *169*, 6. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹⁰ Carter, D. O.; Yellowlees, D.; Tibbett, M. Cadaver decomposition in terrestrial ecosystems. *Naturwissenschaften* **2007**, *94*, 12. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹¹ Hopkins, D. W.; Wiltshire, P. E. J.; Turner, B. D. Microbial characteristics of soils from graves: An investigation at the interface of soil microbiology and forensic science. *Applied Soil Ecology* **2000**, *14*, 283. [[CrossRef](#)]
- ¹² Meyer, J.; Anderson, B.; Carter, D. O. Seasonal variation of carcass decomposition and gravesoil chemistry in a cold (Dfa) climate. *Journal of Forensic Science* **2013**, *58*, 1175. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹³ Carter, D. O.; Yellowlees, D.; Tibbett, M. Moisture can be the dominant environmental parameter governing cadaver decomposition in soil. *Forensic Science International* **2010**, *200*, 60. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹⁴ 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* **2011**, *206*, 50 [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹⁵ Anderson, B.; Meyer, J.; Carter, D. O. Dynamics of ninhydrin-reactive nitrogen and pH in gravesoil during the extended postmortem interval. *Journal of Forensic Science* **2013**, *58*, 1348. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹⁶ Breton, H.; Kirkwood, A. E.; Carter, D. O.

The impact of carrion decomposition on the fatty acid methyl ester (FAME) profiles of soil microbial communities in southern Canada. *Canadian Society of Forensic Science Journal* **2016**, *49*, 1. [CrossRef]

¹⁷ 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* **2015**, *247*, 41. [CrossRef]

¹⁸ Towne, E. G. Prairie vegetation and soil nutrient responses to ungulate carcasses. *Oecologia* **2000**, *122*, 232. [CrossRef]

¹⁹ Ruiz, J. E. A.; Alencar, J. da C. Interpretacao fenologica de cinco especies de Chrysobalanaceae na Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil. *Acta Amaz.* **1999**, *29*, 223. [Link]

²⁰ da Silva, F. C. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*, 2a. ed, Embrapa Informação Tecnológica: Brasília, 2009.

²¹ Claessen, M. E. C. *Manual de Métodos de Análise de Solo*, 2a. ed, Rio de Janeiro, 1997.

²² PerkinElmer Inc., Organic Elemental Analysis of Soils – Understanding the Carbon-Nitrogen Ratio. Disponível em: <https://www.perkinelmer.com/lab-solutions/resources/docs/APP_ElementalAnalysisofSoils.pdf>. Acesso em: 15 dezembro 2015.

²³ Moline, E. F. da V.; Coutinho, E. L. M. Chemical properties of soils in Western Amazonia after conversion of native forest into cultivation areas. *Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Science* **2015**, *58*, 14. [CrossRef]

²⁴ Oliveira, I. A.; Campos, M. C. C.; Junior, J. M.; Aquino, R. E.; Teixeira, D. de B.; da Silva, D. M. P. Use of Scaled Semivariograms in the Planning Sample of Soil Chemical Properties in Southern Amazonas, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* **2015**, *39*, 31. [CrossRef]

²⁵ Mantovanelli, B. C.; Campos, M. C. C.; Alho, L. C.; Franciscan, U.; Nascimento, M. F.; dos Santos, L. A. C. Distribuição espacial dos componentes da acidez do solo em área de campo natural na região de Humaitá, Amazonas. *Revista de Ciências Agroambientais* **2016**, *14*, 1. [Link]

²⁶ Oliveira, I. A.; Campos, M. C. C.; Freitas, L.; Soares, M. D. R. Caracterização de solos sob diferentes usos na região sul do Amazonas. *Acta Amazonica* **2015**, *45*, 1. [CrossRef]

²⁷ Haglund, W. D.; Sorg, M. H.; *Forensic taphonomy: the postmortem fate of human remains* CRC Press: Boca Raton, 1996.

²⁸ Nelson, D. L.; Cox, M. M.; *Princípios de Bioquímica de Lehninger*, 6a. ed., Sarvier: São Paulo, 2002.

²⁹ Fraga, N. de J.; *Dissertação de Mestrado*, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 2004. [Link]

³⁰ Mise, K. M.; Souza, A. S. B. De; Campos, C. D. M.; Keppler, R. L. F.; Almeida, L. M. De Coleoptera associated with pig carcass exposed in a forest reserve, Manaus, Amazonas, Brazil. *Biota Neotropica* **2010**, *10*, 321. [CrossRef]

³¹ Ries, A.; *Dissertação de Mestrado*, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2013. [Link].

³² Cavallari, M. L.; Baltazar, F. N.; Nihei, S. S.; Muñoz, D. R.; Tolezano, J. E. Diptero fauna Associated with *Sus scrofa* Linné, 1758, Carcasses in Urban and Coastal Regions of São Paulo State, Brazil. *Psyche* **2015**, *12*. [CrossRef]

³³ Matuszewski, S.; Konwerski, S.; Fraczak, K.; Szafałowicz, M. Effect of body mass and clothing on decomposition of pig carcasses. *International Journal of Legal Medicine* **2014**, *128*, 1039. [CrossRef] [PubMed]

³⁴ Troeh, F. R.; Thompson, L. M. *Solos e Fertilidade do Solo*, 6ª. ed., Organização Andrei Editora: São Paulo, 2007.

³⁵ 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* **2009**, *193*, 37. [CrossRef] [PubMed]

³⁶ Luchese, E. B.; Favero, L. O. B.; Lenzi, E. *Fundamentos da química do solo* 2ª. ed., Freitas Bastos Editora: Rio de Janeiro, 2001.

³⁷ 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* **2010**, *64*, 300. [CrossRef]

- ³⁸ 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* **2012**, *216*, 127. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ³⁹ 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* **2015**, *88*, 69. [[CrossRef](#)]
- ⁴⁰ 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 Science* **1992**, *37*, 1236. [[CrossRef](#)]
- ⁴¹ Sullivan, T. P.; Eaglstein, W. H.; Davis, S. C.; Mertz, P. The pig as a model for human wound healing. *Wound Repair and Regeneration* **2001**, *9*, 66. [[PubMed](#)]
- ⁴² Stokes, K. L.; Forbes, S. L.; Tibbett, M. Human Versus Animal: Contrasting Decomposition Dynamics of Mammalian Analogues in Experimental Taphonomy. *Journal of Forensic Science* **2013**, *58*, 583. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ⁴³ Schotsmans, E. M. J.; Denton, J.; Dekeirsschieter, J.; Ivaneanu, T.; Leentjes, S.; Janaway, R. C.; Wilson, A. S. Effects of hydrated lime and quicklime on the decay of buried human remains using pig cadavers as human body analogues. *Forensic Science International* **2012**, *217*, 50. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ⁴⁴ Cockle, D. L.; Bell, L. S. Human decomposition and the reliability of a "Universal" model for post mortem interval estimations. *Forensic Science International* **2015**, *253*, 136.e1. [[CrossRef](#)]
- ⁴⁵ Reynaud Schaefer, C. E.; Silva, D. D.; Neri Paiva, K. W.; Pruski, F. F.; Albuquerque Filho, M. R.; Albuquerque, M. A. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* **2002**, *37*, 669. [[CrossRef](#)]
- ⁴⁶ Melz, E. M.; Tiago, P. V. Propriedades físico-químicas e microbiológicas do solo de um Parque em Tangará da Serra, MT, uma área de transição entre Amazônia e Cerrado. *Acta Amazonica* **2009**, *39*, 829. [[CrossRef](#)]