

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
CURSO DE AGRONOMIA
AGR99006 - DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Gabriela Melissa Koetz

00261326

*Compostagem de resíduos agroindustriais classe II A e caracterização de lixiviado das
leiras na empresa Bio-C – Montenegro, RS*

Porto Alegre, janeiro de 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
CURSO DE AGRONOMIA

**Compostagem de resíduos agroindustriais classe II A e caracterização de lixiviado das
leiras na empresa Bio-C – Montenegro, RS**

Gabriela Melissa Koetz

00261326

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como
requisito para obtenção do Grau de Engenheiro
Agrônomo, Faculdade de Agronomia, Universidade
Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Engenheiro Agrônomo Dr. Pedro Selbach

Supervisor de estágio: Engenheiro Agrônomo Jair Staub

COMISSÃO DE AVALIAÇÃO

Prof.(a) Renata Pereira da Cruz - Depto. de Plantas de Lavoura (coordenadora)

Prof.(a) Alexandre Kessler - Depto. de Zootecnia

Prof.(a) José Antônio Martinelli - Depto. de Fitossanidade

Prof.(a) Sérgio Tomasini - Depto. de Horticultura e Silvicultura

Prof.(a) Clésio Gianello - Depto. de Solos

Prof.(a) Pedro Selbach - Depto. de Solos

Prof.(a) Aldo Merotto - Depto. de Plantas de Lavoura

Prof.(a) Lucia Brandão Franke - Depto. de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia

Porto Alegre, janeiro de 2023.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Liane e Leandro por me permitirem a possibilidade de estudar, nunca medindo esforços para contribuir com o que fosse necessário na minha jornada acadêmica.

Ao meu companheiro Leonardo que, mesmo nos momentos mais difíceis, sempre me apoiou e ajudou no que esteve ao seu alcance.

Ao meu filho Rudá que sempre serviu como força e motivação para que eu seguisse buscando meus objetivos, apesar do desafio de conciliar a vida acadêmica com a maternidade.

Ao meu orientador Pedro Selbach pela disponibilidade e prestatividade na orientação deste trabalho; à professora Deborah Dick, do Instituto de Química da UFRGS, pelo auxílio no desenvolvimento das análises desenvolvidas, bem como a todos os outros mestres que colaboraram em toda minha jornada desde a educação básica até o ensino superior, que me permitiram chegar até aqui.

Aos meus amigos e colegas de curso que tornaram o período da graduação mais leve e divertido, estabelecendo laços e memórias inesquecíveis, minha eterna gratidão.

RESUMO

A abundância de resíduos orgânicos gerados pelas atividades agroindustriais induz à necessidade de serem encontradas alternativas de destinação adequada para estes. A compostagem se mostra como a alternativa mais viável devido ao baixo custo, facilidade de operação e geração de um produto com possibilidade de exploração econômica. Neste contexto, o presente Trabalho de Conclusão de Curso relata a experiência do estágio curricular desenvolvido sobre o acompanhamento da dinâmica do processo de compostagem em uma usina de beneficiamento de resíduos orgânicos no município de Montenegro, RS, bem como apresenta os resultados de análises químicas de quantificação das substâncias húmicas contidas no líquido de compostagem resultante do processo. Outras atividades desenvolvidas também são relatadas, como visitas e vivências ocorridas durante a vigência do estágio.

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 – Valores estabelecidos como parâmetros de controle para composto orgânico e tolerâncias, conforme Legislação do Brasil.....	14
Tabela 2 – Acumulado de precipitação e média das temperaturas máximas nos sete dias anteriores às coletas.....	21
Tabela 3 – Síntese dos resultados da determinação de substâncias húmicas.....	24

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 – Vista aérea das dependências da empresa Bio-C, em Montenegro.....	10
Figura 2 – Vala de recepção dos resíduos.....	18

SUMÁRIO

	Página
1	INTRODUÇÃO..... 8
2	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ESTÁGIO..... 10
2.1	A empresa..... 10
2.2	Meio físico e socioeconômico..... 11
3	REFERENCIAL TEÓRICO..... 12
3.1	Resíduos orgânicos..... 12
3.2	Compostagem..... 13
3.3	Substâncias húmicas..... 14
4	ATIVIDADES REALIZADAS..... 17
4.1	Acompanhamento da dinâmica do processo de compostagem..... 17
4.1.1	Do projeto da usina de compostagem..... 17
4.1.2	Caracterização dos resíduos..... 18
4.1.3	Beneficiamento dos resíduos..... 19
4.1.3.1	<i>Mistura.....</i> 19
4.1.3.2	<i>Montagem das leiras.....</i> 19
4.1.3.3	<i>Revolvimento.....</i> 20
4.1.3.4	<i>Peneiramento.....</i> 20
4.1.4	Equipamentos necessários..... 20
4.2	Quantificação de substâncias húmicas..... 20
4.2.1	Descrição da coleta..... 21
4.2.2	Determinação dos teores de ácidos húmicos e fúlvicos..... 21
4.3	Outras atividades..... 23
4.4	Resultados e discussão..... 23
4.4.1	Da dinâmica de compostagem..... 23
4.4.2	Da quantificação de substâncias húmicas..... 24
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 27
	REFERÊNCIAS..... 28
	APÊNDICES..... 30
	ANEXOS..... 32

1 INTRODUÇÃO

Este Trabalho de Conclusão de Curso relata as atividades desenvolvidas no estágio curricular do Curso de Agronomia, realizado na empresa Bio-C – Central de Beneficiamento de Resíduos Sólidos Orgânicos, no município de Montenegro, RS. O estágio foi realizado no período de 27 de junho de 2022 a 16 de dezembro de 2022, totalizando 300 horas, sob a supervisão do Engenheiro Agrônomo Jair Staub.

A escolha do local de estágio teve como premissa o desenvolvimento de atividades voltadas à agroecologia, uma vez percebida a necessidade de expansão das atividades agronômicas considerando ideais agroecológicos para a manutenção do bem viver e da saúde planetária.

A modernidade vivenciada pela população humana trouxe consigo uma série de questões ambientais a serem trabalhadas para que seja possível continuar evoluindo como espécie. A necessidade de um ambiente favorável à vida na Terra, com água limpa, alimentos saudáveis e ar puro evidencia a responsabilidade com que os recursos naturais devem ser manejados, visto que o mau uso destes configura a degradação do meio causando impactos às populações. Os resíduos sólidos orgânicos destinados erroneamente são um exemplo de má gestão dos recursos naturais, uma vez que desviam do ciclo natural os nutrientes presentes nesses resíduos. Milhões de toneladas de matéria orgânica são despejadas em aterros sanitários todos os anos, gerando problemas de emissão de gases de efeito estufa e poluição. Esses resíduos têm um grande potencial de uso na agricultura, visto que muitos solos se encontram em situação de degradação, muito por conta do uso intensivo de fertilizantes químicos e falta de ações de manejo que visem promover o aumento de matéria orgânica nos solos.

A compostagem é uma das técnicas mais importantes na gestão de resíduos sólidos orgânicos, uma vez que é eficiente na degradação de organismos patogênicos, relativamente barata e com potencial de beneficiamento dos resíduos, fornecendo um insumo de qualidade para uso na agricultura. Tem sido amplamente estudada, devido à diversidade de resíduos produzidos e às peculiaridades de cada condição em que essa técnica possa ser utilizada.

Os resíduos orgânicos agroindustriais têm a característica de serem produzidos perto do meio urbano, o que dificulta seu retorno de forma correta aos sistemas de cultivo, fazendo da compostagem uma alternativa adequada de destinação destes materiais. Usinas de compostagem de resíduos orgânicos vêm contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas de cultivo na medida em que coletam esses resíduos, geralmente advindos do meio urbano, e os beneficiam para que possam retornar de forma segura para a agricultura, trazendo benefícios ao

solo e aumentos de produtividade das culturas. Ainda, produtos derivados da compostagem, como o lixiviado do composto, são ricos em substâncias húmicas que vem sendo estudadas quanto a sua utilização na agricultura, mostrando inúmeros benefícios.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivos principais relatar a dinâmica de beneficiamento de resíduos orgânicos agroindustriais da empresa Bio-C, situada no município de Montenegro, RS, bem como estudar o lixiviado do composto da empresa quanto ao conteúdo de substâncias húmicas, pretendendo estabelecer uma relação entre os tipos de resíduos processados e suas características húmicas, visando a exploração econômica deste subproduto.

2 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ESTÁGIO

2.1 A empresa

A empresa Bio-C consiste numa usina de compostagem de resíduos orgânicos classe II A, localizada no município de Montenegro, RS, próxima à ERS-124. Foi fundada oficialmente em 2011 pelo proprietário Paulo Roberto Lenhardt e conta com 16 funcionários distribuídos nos setores administrativo e operacional.

Na Figura 1 está representada a sede da empresa, que possui 11 hectares e é constituída pela guarita de recepção (A), o pátio de compostagem (B), a vala de recepção dos resíduos (C), um galpão de 648 m² (D), um escritório (E), duas lagoas de tratamento de resíduos (F) e duas lagoas de deposição de resíduos que servem como local de “espera” para resíduos que não possam ser imediatamente encaminhados para a compostagem (G).

Há cinco piezômetros instalados em locais estratégicos nas dependências da usina, os quais propiciam amostragens de água subterrânea que são analisadas a cada seis meses para averiguar se há contaminação do lençol freático proveniente das atividades da empresa. Esse monitoramento é necessário para a renovação do registro do estabelecimento no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

A usina é cercada por vegetação arbórea plantada pela empresa anteriormente a sua fundação oficial, composta de espécies nativas, o que auxilia na contenção de possíveis odores exalados pelo processo de compostagem.

Figura 1. Vista aérea das dependências da empresa Bio-C, em Montenegro.



Fonte: Google Earth 2022

2.2 Meio físico e socioeconômico

O clima predominante no município é subtropical úmido, com as quatro estações bem definidas. A temperatura média é de 19,4°C durante o ano, sendo janeiro o mês mais quente, com temperatura média de 25,8°C e julho o mais frio, com média de 13,9°C. Os ventos têm direção predominante nordeste e a pluviosidade média anual é de 1537 mm. Montenegro pertence à Região do Vale do Rio Caí, distante 60 km da capital Porto Alegre e aproximadamente 70 km da região serrana do estado. Possui altitude média de 34 metros do nível do mar, alcançando em alguns pontos, como no Morro São João, até 215 metros.

Na produção primária, a grande faixa de extensão rural do município apresenta como principais atividades a citricultura, a silvicultura e a pecuária. Além das culturas permanentes, são produzidos hortifrutigranjeiros para subsistência das famílias e também para venda no mercado, por meio das feiras livres e da Casa do Produtor Rural, onde são comercializados diretamente do produtor ao consumidor. No total, o município possui 69% de área de uso agrícola (MONTENEGRO, 2021), composta por 1.211 propriedades rurais (SEBRAE, 2019), caracterizadas principalmente por pequenas propriedades. Quanto à pedologia, ocorrem no município cinco classes de solos: Nitossolo eutrófico, Argissolo Vermelho-Amarelo álico, Chernossolo Avermelhado, Planossolo eutrófico e Neossolos litólicos eutróficos.

O município possui um polo industrial com diversas empresas de grande porte, como John Deere, JBS, Masisa, Tanac, entre outras. Algumas empresas e agroindústrias da região do Vale do Caí e Metropolitana têm seus resíduos orgânicos classe II A destinados para a central de compostagem Bio-C.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Resíduos orgânicos

Os resíduos orgânicos são produzidos em diversas atividades humanas, como as atividades agropecuárias onde predominam os dejetos animais, a alimentação humana que gera sobras e desperdícios, o beneficiamento de produtos vegetais, alguns setores industriais como o do curtimento de couro, entre outros. A destinação final adequada para cada resíduo é orientada pela Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, onde em seu art. 3º, inciso VII, define que a destinação final ambientalmente adequada de resíduos compreende a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes, dentre elas a disposição final em aterros para o caso de rejeitos.

A NBR 10004/2004 é a norma brasileira que classifica os resíduos sólidos a fim de fornecer subsídios para o gerenciamento destes, com base em seu potencial de risco ao meio ambiente e à saúde pública. A classificação considera parâmetros como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, e os agrupa em:

- a) resíduos classe I - Perigosos;
- b) resíduos classe II - Não perigosos;
 - resíduos classe II A - Não inertes;
 - resíduos classe II B - Inertes.

Os resíduos classe I são aqueles que apresentam risco alto ao meio ambiente e à saúde pública, como resíduos hospitalares, resíduos químicos, entre outros. Já os resíduos classe II A são aqueles que apresentam risco moderado ao meio ambiente e à saúde pública, e incluem, por exemplo, resíduos de limpeza de áreas verdes, resíduos de jardinagem e paisagismo e resíduos de serviços de limpeza em geral, apresentando potencial de utilização.

A diferenciação entre as classes de resíduos é importante para determinar as medidas de controle e de destinação adequadas, a fim de minimizar os impactos negativos no meio ambiente e na saúde pública.

De acordo com a referida norma, os resíduos recebidos pela Bio-C se enquadram na classe II A, ou seja, resíduos não perigosos e não inertes. Esta classe de resíduos pode ter propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água (ABNT NBR 10004, 2004). Mesmo não apresentando teores significativos de contaminantes perigosos, quando não dispostos corretamente esses resíduos têm potencial poluidor. Portanto, a disposição e o tratamento adequados destes resíduos são necessários a fim de que estes não

venham a poluir o meio ambiente, mas também para promover a reciclagem e utilização dos nutrientes na produção agrícola, aproveitando o potencial agrônômico que os resíduos orgânicos classe II A oferecem.

De acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, os resíduos orgânicos constituem 45,3% dos resíduos sólidos urbanos produzidos, o que correspondeu, no Brasil, em 2018, a 37 milhões de toneladas, considerando os resíduos submetidos à coleta (BRASIL, 2022). Entretanto, apenas 127.498 toneladas (ou 0,34%) tiveram como destinação a compostagem (BRASIL, 2022).

3.2 Compostagem

Também de acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, a compostagem e a digestão anaeróbia para geração de metano são as principais alternativas de aproveitamento de resíduos orgânicos (BRASIL, 2022).

Segundo Kiehl (1985), “compostagem é a transformação de material orgânico em substância humificada, estabilizada – e portanto, com propriedades e características bastante diferentes do material originário”. Já Pereira Neto (1996), definiu compostagem como um processo biológico aeróbio e controlado de tratamento e estabilização de resíduos orgânicos para a produção de húmus. Inácio e Miller (2009), definem a compostagem como um processo de biodecomposição da matéria orgânica dependente de oxigênio e com geração de calor, levando a temperaturas típicas de 50°C a 65°C, e picos que podem chegar a mais de 70°C. O alcance de tais temperaturas resulta num produto de uso seguro na agricultura, considerando que qualquer tipo de patógeno de plantas e sementes de plantas invasoras são inviabilizados em temperaturas acima de 60°C (KIEHL, 1985).

Fato é que o produto da compostagem configura um condicionador de solo que fornece compostos carbonados a este, influenciando nas características físicas, químicas e biológicas do solo, promovendo um ambiente mais favorável para o desenvolvimento das plantas. Além de carbono, também pode fornecer nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, além de micronutrientes, em quantidades variáveis, de acordo com a origem e composição dos resíduos compostados. A Tabela 1 apresenta os parâmetros de controle estabelecidos em legislação para o registro de condicionadores de solo. A Instrução Normativa (IN) do MAPA nº 27 de 5 de junho de 2006, com alteração pela IN nº 7 de 12 de abril de 2016 do mesmo órgão, estabelece limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo, incluindo metais pesados, presença de organismos patogênicos e materiais inertes. A ausência de metais pesados só é garantida nos condicionadores de solo

Classe A que, segundo a IN n° 35 de 4 de julho de 2006, se configuram por “produtos que em sua fabricação utilizam matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados no processo o sódio (Na+), metais pesados, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos”.

O processo da compostagem se dá em duas fases, de acordo com a temperatura que a massa de resíduos alcança em função da atividade microbiana. São elas a fase mesofílica (até 45°C) e a fase termofílica (de 45°C a 75°C). Temperaturas acima de 65°C são muito elevadas e provocam a redução das populações de microrganismos, sendo, portanto, a faixa de 55°C a 65°C preferencial para a otimização do processo de decomposição aeróbia (INÁCIO e MILLER, 2009).

O bom desempenho do processo de compostagem depende de algumas características dos resíduos a serem utilizados. Kiehl (1985) define que o pH, normalmente ácido, deve estar próximo da neutralidade; a relação C:N deve estar na ordem de 30:1; a granulometria de partículas com 1,2 cm x 5 cm para garantir estrutura e aeração; e a umidade entre 40% e 60%. Nessas condições é favorecida a plena atividade dos microrganismos que desempenham a função de decomposição dos resíduos, resultando em menor tempo de decomposição e num produto de melhor qualidade.

A perda de carbono, através do CO₂, e a intensa perda de vapor são responsáveis por reduções de 25 a 50% no volume e de 40 a 80% no peso total.

Tabela 1 - Valores estabelecidos como parâmetros de controle para composto orgânico e tolerâncias, conforme Legislação do Brasil.

Parâmetro	Valor	Tolerância
pH	Mínimo de 6,0	até 5,4
Umidade	Máximo de 40%	até 44%
Matéria orgânica	Mínimo de 40%	até 36%
Nitrogênio total	Mínimo de 1,0%	até 0,9%
Relação C/N	Máximo de 18/1	até 21/1

Fonte: D’Almeida e Vilhena, 2018.

3.3 Substâncias Húmicas

A matéria orgânica do solo (MOS) é formada por uma fração viva, composta por micro e macrorganismos, e por uma fração morta, composta por detritos (diferentes resíduos orgânicos

presentes no solo) e por húmus. Este, por sua vez, é composto por substâncias não húmicas com propriedades físicas e químicas bem conhecidas, como polissacarídeos, ácidos graxos, aminoácidos, etc., e pelas substâncias húmicas (SH). As SH compõem a fração que apresenta os componentes de maior massa molecular e maior reserva de carbono orgânico total da MOS (GUERRA et al., 2008). Geralmente as SH são fracionadas, em função de sua solubilidade, em três principais frações: os ácidos húmicos (AH), definidos operacionalmente como a fração das SH solúvel em meio alcalino diluído, a qual precipita pela acidificação do extrato alcalino; os ácidos fúlvicos (AF), que permanecem em solução quando o extrato alcalino é acidificado; e a humina, que é a fração não extraída por ácido ou álcali diluído (STEVENSON, 1994).

As SH são atualmente definidas como associações supramoleculares de moléculas heterogêneas e relativamente pequenas que se formam em decorrência da degradação e decomposição de material biológico morto (PICCOLO, 2002). Os AH e AF são considerados condicionadores de solo, biorreguladores e bioestimulantes, apresentam potencial para promover alterações fisiológicas nas plantas cultivadas que contribuem para o seu melhor desenvolvimento (CARON et al., 2015).

Vários estudos mostram a ação dos AH e AF na morfologia de raízes, proporcionando aumento da biomassa e do tamanho de raízes e também o crescimento de pelos radiculares e raízes finas, o que permite à planta explorar melhor o perfil do solo e também ter condições mais favoráveis para sobreviver em caso de déficit hídrico. Além disso, estimulam a atividade da H⁺-ATPase da membrana plasmática, com um mecanismo semelhante ao das auxinas, e também exercem influência positiva sobre o transporte de íons facilitando a absorção, bem como promovem aumento no conteúdo de clorofila. (CANELLAS e OLIVARES, 2014; ZANDONADI, 2006).

Paiva (2020), estudando sobre os modos de aplicação de SH, verificou que a aplicação no solo no momento do plantio teve melhores resultados na produção de milho, quando comparada à aplicação dividida entre o solo e a planta. Bender (2018), em experimentos com alface, encontrou resultados semelhantes comparando a aplicação de uma dose total do fertilizante mineral NPK (nitrogênio – fósforo – potássio) com ½ dose de NPK + utilização de AH, concluindo que é possível reduzir a adubação química em 50% sem prejuízos no rendimento do cultivo, nas condições do experimento.

Portanto, as SH constituem uma ferramenta interessante para uso na agricultura podendo trazer inúmeros benefícios para os sistemas de cultivo, inclusive a redução de custos com adubos químicos.

São relatadas na literatura algumas metodologias de fracionamento de substâncias húmicas para quantificação, separando-as em ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e huminas. Essas metodologias diferem quanto ao tempo de análise, o tipo e volume de resíduo gerado. Dhein (2019) comparou três metodologias distintas, sendo elas: o método utilizado pelo MAPA; o método utilizado pela Associação de Comércio de Produtos Húmicos dos Estados Unidos (HPTA); e um método utilizado para determinação de substâncias húmicas em solos. Concluiu, nesse estudo, que o método da HPTA é o mais viável para a quantificação de substâncias húmicas em fertilizantes orgânicos, considerando a confiabilidade dos resultados e os impactos ambientais dos resíduos gerados. Portanto, com o intuito de determinar o conteúdo de AH e AF presente no lixiviado de compostagem e, seguindo o interesse da Bio-C em melhor aproveitar o lixiviado com o desenvolvimento de um fertilizante orgânico, foi escolhido o método de análise desenvolvido pela HPTA, que baseia-se na determinação gravimétrica de ácidos húmicos e fúlvicos purificados.

4 ATIVIDADES REALIZADAS

No período dedicado ao acompanhamento da dinâmica do processo de compostagem na sede da empresa, foi investigado a respeito do projeto da usina, dos tipos de resíduos recebidos, do processamento destes a partir da recepção e dos equipamentos necessários para o desempenho das operações. Estas atividades serão relatadas na seção enumerada 4.1.

O período dedicado às análises do lixiviado de compostagem, bem como a descrição da metodologia de análise e dos cálculos desenvolvidos para obter o resultado dos teores de SH será relatado na seção enumerada 4.2.

4.1 Acompanhamento da dinâmica do processo de compostagem

4.1.1 Do projeto da usina de compostagem

O pátio de compostagem foi dimensionado para o processamento de 13 mil toneladas/mês, configurado por dois módulos de 50 m x 100 m, resultando numa área de 1 ha. A vala de recepção dos resíduos, onde são depositados todos os resíduos que chegam até a usina, foi construída com uma camada de argila compactada, uma geomembrana de 1,5 mm de polietileno de alta densidade e 2 m de casca de arroz crua, e possui área de 200 m² com 6 m de profundidade.

As leiras não apresentam arruamento interno por uma questão estratégica, estabelecida pela empresa. Mantendo a continuidade entre elas, é oportunizada uma maior retenção de água nas leiras e um maior controle da quantidade de líquido drenado quando ocorrem chuvas mais intensas. Se não houvesse essa continuidade entre as leiras, haveria muita percolação de líquidos, agravando a perda de umidade das leiras e causando o inconveniente de excesso de lixiviado nas lagoas de tratamento. Segundo o responsável técnico, o revolvimento das leiras não é prejudicado pela continuidade das mesmas, uma vez que as pás das escavadeiras dão conta de realizar o revolvimento completo, e as leiras não ficam encharcadas pois ocorre a evaporação da água em função das altas temperaturas do processo. Atualmente, são processadas de 3 a 4 mil toneladas de resíduos/mês, sendo que o tempo médio de decomposição é de 18 meses.

Há duas lagoas de deposição com cobertura projetadas para receber resíduos que precisem de certa estabilização antes de serem encaminhados para compostagem, ou que contenham muita água e precisem ser filtrados. Uma delas se encontra parada no momento em função de uma ventania que rasgou a cobertura plástica.

O lixiviado das leiras de compostagem é coletado juntando-se o líquido que percola a partir de toda a extensão das leiras, ou seja, o material é proveniente tanto das leiras mais novas quanto das mais estabilizadas, e é passado por dois biodigestores (não operantes), um decantador, e um filtro. Para manter baixo o nível das lagoas e evitar riscos de transbordamento, o lixiviado é utilizado na irrigação do composto peneirado, que recebe 5 mil litros do lixiviado por dia. Além disso, por conter características húmicas, há o interesse em se analisar este para a elaboração de um produto de aplicação no solo ou plantas, justificando o estudo realizado e descrito na próxima sessão.

Figura 2 - Vala de recepção dos resíduos



Fonte: A autora, 2022.

4.1.2 Caracterização dos resíduos

Os resíduos recebidos pela empresa podem ser divididos em três classes, sendo: relação C:N alta; relação C:N baixa; e fontes de minerais. A seguir, são relacionados os resíduos utilizados pela empresa e suas respectivas classes:

- a) Relação C:N alta: Cascas de acácia, material de poda urbana, carvão remanescente de caldeiras, serragem, cavacos.
- b) Relação C:N baixa: Caixas de gordura, laticínios, restos de alimentos de supermercados, resíduos de cervejaria, borra de soja, bagaços de frutas, lodos de estações de tratamento de água.
- c) Fontes de nutrientes: Cinzas de caldeira, resíduos de carvão.

Os resíduos que apresentam alto teor de umidade (como borra de soja e alguns lodos) são decantados na lagoa de deposição antes de serem descarregados na vala. Problemas com incêndios são mais frequentes em épocas chuvosas devido a anaerobiose ocasionada no interior das leiras, provocando fermentação e produção de metano e consequente propensão a incendiar. Com o passar do tempo, foi verificado que a adição de resíduos como cinzas e/ou bagaço de frutas nos focos de incêndio ajuda na redução imediata da temperatura e no combate ao fogo, uma vez que o uso de água pura não permite cessar o problema.

Problemas de falta de aquecimento nas leiras não ocorrem nesta usina de compostagem, segundo o responsável Paulo, devido à correta relação C:N da mistura dos resíduos, que favorece o adequado processo de decomposição dos materiais. Os galhos não são picados pois a granulometria grosseira desse material favorece a aeração e estruturação das leiras.

4.1.3 Beneficiamento dos resíduos

4.1.3.1 *Mistura*

Assim que os resíduos chegam na empresa são depositados na vala de recepção, onde são misturados visando atingir uma relação C:N em torno de 30:1 para compor as leiras de compostagem. Esta mistura é realizada conforme os resíduos vão sendo recepcionados na vala, independentemente de sua natureza, o que impossibilita o alcance exato da referida relação C:N. São mantidas uma pilha reserva de serragem e outra de cascas de acácia à disposição do operador que realiza a mistura dos materiais, a fim de estabilizar estruturalmente o conteúdo misturado quando preciso, isto é, a serragem é adicionada em resíduos com muita umidade e as cascas com a função de estruturar a mistura, ambas objetivando formar um produto passível de ser enleirado, que não se esparrame quando trabalhado.

4.1.3.2 *Montagem das leiras*

Assim que os resíduos são misturados na proporção adequada para permitir sua deposição sem que se desmontem, estes são dispostos em leiras no espaço projetado no pátio da empresa. As leiras seguem um ordenamento de acordo com o andamento do processo de compostagem, onde as leiras mais próximas da vala de recepção são mais novas, enquanto que as leiras mais próximas ao pavilhão coberto, onde é peneirado o composto pronto, estão mais estabilizadas. Desta forma, ocorre um processo sequencial do material em decomposição até chegar ao pavilhão coberto, onde o composto é finalizado. As dimensões das leiras variam de acordo com a quantidade de resíduos recebidos e com a saída de composto pronto, mas seguem um padrão de aproximadamente 50 m de comprimento, 15 m de altura, e 15 m de largura, sendo

que não há arruamento interno e, portanto, as leiras mantêm uma continuidade entre si, como ilustra o ANEXO B.

4.1.3.3 Revolvimento

Uma vez enleirados, inicia-se o processo de compostagem, onde os microrganismos aeróbios utilizam os materiais orgânicos como fonte de energia para seu desenvolvimento e reprodução. A ação microbiana gera calor que atinge até 72°C, o que é responsável pela degradação de quaisquer organismos patogênicos que possam estar presentes no material. A fim de manter condições aeróbias para preservar os microrganismos, é realizado o revolvimento das leiras do material orgânico. Esse revolvimento consiste no tombamento e deslocamento das leiras em direção ao pavilhão de composto pronto, e é realizado com o auxílio de uma escavadeira com intervalos de 30 a 40 dias, dependendo das condições meteorológicas e de parâmetros empiricamente observados, como a presença de vapor sobre as leiras.

4.1.3.4 Peneiramento

Quando o material orgânico atinge os parâmetros de estabilidade requeridos, o que leva aproximadamente 18 meses, é então encaminhado para a última etapa do processo, onde é peneirado. O peneiramento tem a finalidade de remover resíduos maiores que não sofreram completamente a ação dos microrganismos, bem como proporcionar uma granulometria uniforme ao composto. Todo resíduo retido na peneira é encaminhado de volta ao início do processo, servindo como inoculante de microrganismos para os novos resíduos. A peneira utilizada apresenta capacidade operacional de 50 m³/h.

4.1.4 Equipamentos necessários

As operações necessárias para desenvolver o processo de compostagem na Bio-C contam com os seguintes equipamentos: cinco escavadeiras, uma peneira, dois caminhões e um trator agrícola.

4.2 Quantificação de substâncias húmicas

Foram realizadas sete coletas de amostras do lixiviado, sendo seis destas de material “corrente”, diretamente percolado das leiras de compostagem, e uma de pilha de composto mantido estocado por oito anos, permitindo alterações na sua constituição. As amostras foram coletadas de uma mangueira que direciona o lixiviado das leiras de compostagem até as lagoas

de tratamento, sendo realizadas com intervalos de uma a seis semanas, visando fornecer resultados representativos das alterações meteorológicas ao longo do período de coleta.

4.2.1 Descrição da coleta

Inicialmente, as amostras coletadas foram de dois litros cada uma, em função da necessidade do estabelecimento de métodos de secagem e de manuseio do material, de acordo com as requisições do método de análise das substâncias húmicas. Após o estabelecimento da metodologia de análise, as amostras foram coletadas em garrafas PET de 500 ml e mantidas em temperatura ambiente até o momento das análises.

As condições meteorológicas nos sete dias anteriores a cada coleta foram registradas (Tabela 2) para posterior correlação com o resultado das análises, uma vez que dias chuvosos tendem a diluir a concentração dos compostos presentes no lixiviado, e dias muito secos tendem ao oposto.

Tabela 2 - Acumulado de precipitação e média das temperaturas máximas nos sete dias anteriores às coletas.

Data coleta	20/07	27/07	24/08	05/10	26/10	17/11
Precipitação (mm)	75,2	15,2	6,6	7	0	18,2
Média temp. máx. (°C)	19	26,1	21,1	22,4	26,9	28,6

Fonte: Elaborado pela autora com dados do Inmet, Estação Jardim Botânico, Porto Alegre.

4.2.2 Determinação dos teores de ácidos húmicos e fúlvicos

Para determinar os teores dos AH e AF foi utilizada a metodologia desenvolvida por Lamar et al. (2014) a qual é adotada pela HPTA para quantificação de SH em fertilizantes orgânicos, como já citado anteriormente. Este método baseia-se na determinação gravimétrica dos AH e AF purificados. Com o objetivo de determinar a quantidade de amostra adequada para a obtenção de resultados mensuráveis e precisos, foi realizado um teste preliminar empregando-se 10 e 20 ml do lixiviado (duas replicatas cada) da amostra coletada em 20/07. A alíquota de 20 ml se mostrou mais representativa e com maior precisão, devido a maior concentração de SH presentes neste volume. Portanto, todas as análises subsequentes foram realizadas com alíquotas de 20 ml, em duplicata, para comparação de resultados e realização de médias.

O passo-a-passo detalhado do método de análise seguiu os protocolos da metodologia citada e encontra-se no APÊNDICE B, portanto, nesta seção só serão descritos os procedimentos que, por motivos adversos, se desenvolveram fora da metodologia. O protocolo da metodologia, resumidamente, consiste nos seguintes passos:

- a) Determinação da concentração de sólidos no lixiviado;
- b) Extração alcalina;
- c) Separação dos AH;
- d) Separação dos AF;
- e) Purificação dos AF;
- f) Cálculos.

Algumas amostras secas em estufa de secagem apresentaram cristais de NaCl (cloreto de sódio) no fundo do recipiente, o que interfere no peso real das SH. Para eliminar o excesso de sais das análises 3, 4 e 5, foi realizado o procedimento de diálise dessas amostras utilizando membranas de diálise. O procedimento consiste em:

- a) Solubilizar as amostras salinizadas em água deionizada;
- b) Dispor o conteúdo dentro de um tubo de membrana, cuja extremidade inferior esteja fechada;
- c) Fechar a extremidade superior do tubo com um grampo para que não haja vazamento da amostra;
- d) Colocar a membrana contendo a amostra dentro de um recipiente com água deionizada. O tubo de membrana deve ficar totalmente imerso na água.

A membrana possui poros de 1 kDa que permitem a passagem dos íons de sódio, por difusão, pelos poros, enquanto que os compostos da matéria orgânica não passam. A água do recipiente deve ser trocada até que o teste do cloreto, descrito a seguir, seja negativo. Esse teste é realizado coletando-se 2 ml da solução externa ao tubo de diálise, colocando-os em um tubo de ensaio, e gotejando-se a solução concentrada de AgNO₃ (nitrato de prata). Caso haja íon cloreto na água deionizada, ocorre formação de AgCl que é insolúvel e precipita. Uma vez que a passagem do cloreto pela membrana é acompanhada pelo co-íon sódio, assume-se que a amostra não contém teores relevantes de sódio.

Assim, as amostras foram dessalinizadas e postas a secar novamente para determinação das massas de AH e de AF.

Os teores de AH e de AF foram calculados segundo as Equações 1 e 2, respectivamente:

$$AH (\%) \text{ base seca} = \left(\frac{\text{massa seca AH}}{\text{massa seca alíquota corrigida}} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$AF (\%) \text{ base seca} = \left(\frac{\text{massa seca AF}}{\text{massa seca alíquota corrigida}} \right) \times 100 \quad (2)$$

4.3 Outras atividades

Em agosto de 2022, a Bio-C esteve presente na 45ª Expointer expondo seu condicionador de solo e prestando consultoria ao público interessado. Foi possível perceber o crescente interesse de produtores pelos bioinsumos em busca da sustentabilidade de seus cultivos, e a curiosidade por parte do público em geral a respeito das características do produto.

No dia 19 de outubro de 2022, a Emater-Ascar/RS promoveu um seminário sobre bioinsumos em sua sede em Porto Alegre. Tratou-se a respeito da história dos bioinsumos, do Programa Nacional de Bioinsumos, da produção industrial e *on farm* e houve um momento de discussão com os participantes. Pode-se perceber que as perspectivas futuras para o uso de bioinsumos são muito favoráveis, tendo em vista os benefícios na restauração do equilíbrio dos ecossistemas proporcionado pela ação dos microrganismos nos sistemas de cultivo, e a possibilidade de reduzir custos com a multiplicação na propriedade.

No dia 5 de dezembro de 2022, o técnico Felipe Jasinski, da certificadora Ecocert, visitou a Bio-C para realização de auditoria que confere o selo de produto orgânico ao condicionador de solo produzido pela empresa. Nesta reunião foram solicitados alguns documentos, entre eles: registro do estabelecimento e do produto; alvarás de funcionamento expedidos pelos bombeiros e pela prefeitura; licença de operação expedida pela Fepam; croqui/layout das unidades de produção, armazenamento, embalagem e expedição; fluxograma de produção; volumes de entrada (resíduos) e saída (produto); discriminação dos resíduos recebidos; análises químicas do produto contendo teores de metais pesados.

4.4 Resultados e discussão

4.4.1 Da dinâmica de compostagem

A respeito do processo de compostagem, salienta-se a experiência demonstrada pelos operadores de máquinas em realizar os procedimentos com os resíduos, principalmente na operação de mistura, a qual demanda o conhecimento das características de cada material a fim de realizar uma mistura adequada. Os resíduos recebidos são selecionados de acordo com a origem e é observada a presença de contaminantes, visando a obtenção de um produto de qualidade e de uso seguro na agricultura orgânica. O monitoramento das condições subterrâneas através dos piezômetros garante a adequação ambiental e permite a renovação do registro do estabelecimento.

Alguns aspectos observados na Bio-C estão em desacordo com as recomendações encontradas na literatura. A mixagem dos resíduos se dá pela mistura dos materiais à medida que são recepcionados na vala, independente das características destes. Conseqüentemente, a

relação C:N da mistura foge do controle dos operadores, embora existam as pilhas de serragem e cascas disponíveis ao lado da vala que interferem positivamente nesse parâmetro, permitindo aumentar a fração de carbono na mistura. Entretanto, a relação C:N adequada, em torno de 30:1, é um fator essencial para o pleno desenvolvimento da compostagem, e se mostra um aspecto desafiador para a dinâmica do processo na empresa, visto que a chegada dos resíduos não pode ser impedida e que não há outro local adequado de deposição dos resíduos recepcionados.

A disposição das leiras de compostagem de forma contínua, sem arruamento interno, embora relatada ocorrer por motivo estratégico, dificulta a aeração do material e favorece a ocorrência de pontos com ausência de oxigênio, o que acarreta no desenvolvimento de organismos anaeróbios e conseqüentemente gera odores no entorno e características indesejáveis ao produto final. Este problema é contornado com o revolvimento mecânico com escavadeiras, proporcionando a aeração necessária, e não se mostra como um fator negativo do ponto de vista interno da empresa.

O município de Montenegro, bem como os municípios dos arredores, possui uma estrutura fundiária composta por pequenas propriedades, o que se configura numa situação favorável de demanda pelo produto condicionador de solo. Desta forma, o serviço prestado pela Bio-C permite o retorno do material orgânico proveniente de agroindústrias para as unidades de produção agrícola, fechando o ciclo do carbono e dos demais nutrientes, contribuindo para uma agricultura mais sustentável.

4.4.2 Da quantificação de substâncias húmicas

Os resultados das análises, submetidos aos cálculos necessários para chegar aos teores finais das SH, em base seca, podem ser visualizados na Tabela 3, juntamente aos dados de temperatura e precipitação na semana anterior de cada coleta.

Tabela 3: Síntese dos resultados da determinação de substâncias húmicas.

Identificação	Data	Teor AH bs (%)	Teor AF bs (%)	Média temp. máx.	Precipitação
1	20/07	12,20	45,05	19	75,2
2	27/07	29,31	24,59	26,1	15,2
3*	27/07	29,23	20,97	26,1	15,2
4	24/08	15,86	19,87	21,1	6,6
5	05/10	16,36	13,31	22,4	7
6	26/10	30,71	15,52	26,9	0
7	17/11	28,45	12,20	28,6	18,2

* a análise 3 foi coletada em leira de composto parada há 8 anos

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

A determinação dos teores das SH e sua interpretação considerando as alterações meteorológicas ao longo do estudo desenvolvido revelam que há alteração nos teores de AH e AF. A análise nº 1, a qual apresentou a maior precipitação na semana anterior à coleta, resultou no maior teor de AF. Isso pode estar relacionado à maior solubilidade dos AF, uma vez que estes são solúveis em água em qualquer faixa de pH. Em geral, houve pouca chuva nas semanas anteriores às demais coletas, onde se observou, com exceção da análise nº 4, teores mais elevados de AH em relação a AF, convergindo para a hipótese de que maiores precipitações proporcionam teores mais elevados de AF no lixiviado.

A temperatura pareceu não ser um fator relevante para gerar diferenças nos teores de SH do lixiviado. Isso possivelmente se deve ao fato de que o processo de compostagem, por ser um processo exotérmico, eleva a massa de resíduos a temperaturas mais altas que o ambiente, reduzindo o efeito da temperatura externa. Além disso, as temperaturas registradas no período do estudo foram inferiores a 29°C, não sendo suficientes para causar distúrbios relevantes ao processo de compostagem.

Além dos parâmetros físicos como temperatura e precipitação, a dificuldade na obtenção de uma massa de resíduos sempre homogênea em relação a proporção dos materiais

constituintes se configura num fator que colabora para a variação nos teores de SH. A necessidade de depositar imediatamente na vala os resíduos recepcionados pela empresa acarreta numa composição variável das leiras de compostagem que, mesmo revolvidas e misturadas posteriormente, continuam apresentando características parcialmente heterogêneas.

Considerando os teores de AH e AF informados em rótulos diversos de produtos existentes no mercado – em estudo de comparação de métodos de análise de SH, Dhein (2019), analisando cinco produtos comerciais, encontrou teores de até 9% utilizando a mesma metodologia utilizada neste trabalho –, pode-se afirmar que o lixiviado estudado possui teores mais elevados dessas substâncias. Isto o caracteriza como uma alternativa viável de produto para fornecer os benefícios ao solo e às plantas descritos na literatura, como melhora no enraizamento e absorção de nutrientes, além de resistência contra patógenos e estresses bióticos. Sendo assim, o uso do produto tende a apresentar benefícios aos cultivos, apesar de serem necessários experimentos que averiguem a melhor dose e época de aplicação para cada tipo de cultura e solo. Além disso, o desenvolvimento de um produto com base neste lixiviado e enriquecido com sais fertilizantes poderia fornecer benefícios superiores para as plantas, vide experimentos de Bender (2018), onde a associação de fertilizantes minerais com substâncias húmicas potencializou o efeito dos fertilizantes resultando em melhores parâmetros de rendimento em alface.

O armazenamento e homogeneização do lixiviado pode ser uma alternativa para a padronização das concentrações de SH, permitindo a obtenção de teores mais similares ao longo do tempo e facilitando a utilização deste material para o desenvolvimento de um produto comercial.

Outra alternativa de uso para o lixiviado é a que já ocorre na empresa, onde o líquido é reaplicado nas leiras. Essa alternativa é adequada pois mantém um sistema fechado, evitando a contaminação do solo e lençol freático, ao mesmo tempo em que agrega características funcionais ao composto produzido e economiza água que seria necessária para a manutenção da umidade nas leiras.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A respeito do processo de compostagem, pode-se perceber que, embora o volume de resíduos beneficiados pela empresa seja grande e que a atividade seja nobre e resulte em impactos positivos para a agricultura e o ambiente, a empresa não está tendo o retorno econômico desejado. Isso pode ter relação com o fato de que outras usinas de compostagem foram iniciadas na mesma região, oferecendo um produto de menor valor comercial, o que acabou por reduzir a demanda pelo produto da Bio-C. Outro fator que contribui para a menor renda do empreendimento é a redução da entrada de resíduos para o beneficiamento, justificada pela diminuição do ritmo de muitas empresas em função do período pandêmico, além dos processos de melhoria da eficiência na geração de resíduos nas empresas fornecedoras de resíduos, onde pode-se citar como exemplo a Tanac, que atualmente utiliza toda a casca de árvore como fonte energética na alimentação de caldeiras, quando antes encaminhava este resíduo para a Bio-C. Ainda, a elevação nos preços do diesel acarretou em maior custo para o beneficiamento dos resíduos, que precisam ser revolvidos regularmente com escavadeiras e transportados por meio de caminhões e carretas. Desta forma, a prestação de serviços (transformação e destinação de resíduos) se mantém sendo o carro chefe da empresa.

Em relação à quantificação dos teores de SH presentes no lixiviado de compostagem, foi possível verificar que há variação nos teores ao longo do tempo, podendo ser influenciada tanto por questões meteorológicas quanto por motivos operacionais, como a proporção dos resíduos constituintes das leiras de compostagem, que é definida pela chegada de resíduos na empresa. Com o resultado das análises, é possível garantir teores mínimos de SH fornecidos pelo lixiviado.

Para a padronização do produto, seria preciso realizar o armazenamento e homogeneização do lixiviado, permitindo a obtenção de teores equalizados, ou alterar a dinâmica de chegada dos resíduos, visando promover uma mistura com proporções sempre similares dos resíduos recepcionados.

O lixiviado de compostagem da Bio-C apresenta características húmicas desejadas para a elaboração de um produto comercial de utilização na agricultura, e pode se configurar numa alternativa de renda extra interessante para a saúde econômica do empreendimento.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Resíduos Sólidos: Classificação. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. Disponível em: <https://analiticaqmresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2022.
- BENDER, A. C. **Condicionadores húmicos de solo e desenvolvimento de plantas de alfafa**. 2018. Disponível em: https://www.ufrgs.br/agronomia/materiais/andressaclasserbender_mestrado.pdf Acesso em: 28 dez. 2022.
- BRASIL. Instrução Normativa nº 27 de 5 de junho de 2006 (Alterada pela IN SDA nº 7, de 12/04/2016, republicada em 02/05/2016). **Secretaria de Defesa Agropecuária**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-sda-27-de-05-06-2006-alterada-pela-in-sda-07-de-12-4-16-republicada-em-2-5-16.pdf> Acesso em 04 jan. 2023.
- BRASIL. Instrução Normativa nº 35 de 4 de julho de 2006. **Diário Oficial da União**. Secretaria de Defesa Agropecuária. 32 ISSN 1677-7042 Nº 132, quarta-feira, 12 de julho de 2006. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-35-de-4-7-2006-corretivos.pdf> Acesso em 04 jan. 2023.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm Acesso em: 27/12/2022.
- BRASIL. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental - Planares [recurso eletrônico] / coordenação de André Luiz Felisberto França... [et. al.]. – Brasília, DF: MMA, 2022.
- CANELLAS, L. P. OLIVARES, F. L. **Physiological responses to humic substances as plant growth promoter**. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 2014. Disponível em: <https://chembioagro.springeropen.com/articles/10.1186/2196-5641-1-3> Acesso em 06 jan. 2023.
- CARON, V. C. et al, **Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos ESALQ** - Divisão de Biblioteca, Série Produtor Rural, nº 58, 46 p. Piracicaba SP, 2015. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/biblioteca/file/2140/download?token=e4cGslyJ> Acesso em: 06 jan. 2023.
- D'ALMEIDA, M. L. O. VILHENA, A. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 4. ed. – São Paulo (SP): CEMPRE, 2018. 316 p. Disponível em: https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/11/6-Lixo_Municipal_2018.pdf Acesso em: 28 dez. 2022.
- DHEIN, C. A. **Comparação de métodos para determinação de substâncias húmicas em bioestimulantes líquidos comerciais**. 2019. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/212950> Acesso em: 04 jan. 2023.

GUERRA, J. G. M. et al. **Macromoléculas e Substâncias Húmicas**. In: SANTOS, G. A. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais. 2 ed. Porto Alegre-RG: Metropole, 2008. Cap. 3. p. 19-26.

INÁCIO, C.T & Miller, P. R. M. **Compostagem**: ciência e prática aplicadas à gestão de resíduos. EMBRAPA. 2009.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Ceres.1985.

LAMAR, R. T. et al. A New Standardized Method for Quantification of Humic and Fulvic Acids in Humic Ores and Commercial Products. **Journal of AOAC International**, v. 97, n. 3, p. 721-30, 2014.

PAIVA, M. J. do A. **Ação e modo de aplicação dos ácidos húmicos e fúlvicos sobre características morfológicas e fisiológicas de milho**. 2020. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/28301/1/texto%20completo.pdf> Acesso em: 06 jan. 2023.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de Compostagem**. Belo Horizonte: UNICEF, 1996.

PICCOLO, A. **The supramolecular structure of humic substances**: a novel understanding of humus chemistry and implications in soil science. 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/222526145_The_supramolecular_structure_of_humic_substances_A_novel_understanding_of_humus_chemistry_and_implications_in_soil_science Acesso em 27 dez. 2022.

Prefeitura Municipal de Montenegro. **Plano Municipal de Desenvolvimento Rural 2021 - 2024**. Município de Montenegro, RS, 2021.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Perfil das Cidades Gaúchas - Montenegro 2020**. Porto Alegre, RS, 2019. Disponível em: https://datasebrae.com.br/municipios/rs/Perfil_Cidades_Gauchas-Montenegro.pdf Acesso em: 04/01/2023.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry**: genesis, composition, reactions. 2. ed. USA: John Wiley & Sons, 1994. 496 p.

ZANDONADI, D. B. **Bioatividade de substâncias húmicas**: promoção do desenvolvimento radicular e atividade das bombas de H⁺; Tese CCTA UENF, 2006. Campos dos Goytacazes - RJ. Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/producao-vegetal/wp-content/uploads/sites/10/2017/11/Daniel-zandonadi.pdf> Acesso em: 06 jan. 2023.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Peneira para condicionador de solo.



Fonte: A autora, 2022.

APÊNDICE B – Descrição detalhada da metodologia de análise.

Determinação da concentração de sólidos no lixiviado

A concentração de sólidos no lixiviado deve ser determinada para que se possa expressar o teor de AH e de AF em base de peso seco. Para isto, foram pesadas em balança analítica com 3 casas decimais, duas alíquotas de 20 ml de cada material coletado, em um becker de vidro pré-pesado. A seguir a suspensão foi seca em estufa (FabbeCenter 119) a 60°C. Após secagem da amostra e resfriamento, foi determinado o peso do frasco + amostra seca. Após cálculo do peso da massa seca da amostra calculou-se a concentração de sólidos de acordo com a Equação 3. Após, foi feita a média aritmética entre as duas repetições para utilizar um valor mais preciso para calcular os teores das substâncias húmicas.

$$[\text{sólidos (\%)}] = \left(\frac{\text{massa seca}}{\text{massa úmida}} \right) \times 100 \quad (3)$$

Esse dado é empregado para o cálculo da massa seca de cada alíquota de lixiviado analisada na determinação das substâncias húmicas (Equação 4):

$$\text{massa seca alíquota} = \text{massa úmida alíquota} \times \frac{[\text{sólidos \%}]}{100} \quad (4)$$

Fracionamento e purificação das substâncias húmicas

Para a determinação do teor de AH e de AF foram pesados 20 ml do lixiviado em balança analítica com 3 casas decimais, em um becker plástico. A seguir esta alíquota foi avolumada a 500 ml com NaOH 0,1 mol l⁻¹ num becker plástico de capacidade de 1 l, e a solução foi então acidificada com HCl 4 mol l⁻¹ até atingir pH 1 (aproximadamente 12 ml), medido com o auxílio de fitas medidoras de pH, sob agitação magnética (Velp Scientific - AREX Magnetic Stirring) a 250 rpm. Esta solução foi coberta com filme plástico e mantida em repouso por 12 h para que os AH, que não são solúveis nesta faixa de pH, sejam precipitados e decantados ao fundo do recipiente.

Após o tempo previsto, o sobrenadante ácido foi coletado em um becker plástico e o AH precipitado, separado por decantação, foi centrifugado (Fanem Excelsa II-Mod 206 BL) por 10 minutos em tubos de 50 ml do tipo Falcon para total separação das fases. A fração de AH foi colocada num recipiente de vidro graduado previamente pesado e encaminhado para secagem em estufa a 60°C.

O sobrenadante ácido contendo os AF foi disposto em um becker de 1 l e passado, através de uma bomba peristáltica (Masterflex Mod 7014-20), pela resina Amberlite DAX-8 (SUPELITE™) na forma ácida, acondicionada em coluna de vidro de 40 x 250 mm. Os AF ficam adsorvidos na resina e os compostos hidrofílicos de baixo peso molecular percolam livremente. A seguir foram passados 50 ml de água deionizada pela coluna de resina para remoção do excesso de sais e de compostos orgânicos de baixo peso molecular que não tenham sido devidamente percolados. Após, os AF são eluídos com a passagem de NaOH 0,1 mol l⁻¹ em volume suficiente para sua remoção total (aproximadamente 25 ml), sendo coletados na parte inferior da coluna. A seguir a coluna foi lavada com 100 ml de água deionizada e depois passados 50 ml de HCl 0,1 mol L⁻¹ para o seu recondicionamento e uso da próxima amostra.

Posteriormente, os AF na forma básica foram passados na resina de troca catiônica Amberlite IR120 na forma ácida para remover os cátions contaminantes. Tendo passado pelas duas resinas, o material foi disposto em becker de vidro graduado, previamente pesado, e posto para secar em estufa a 60°C.

Uma vez secos, os frascos contendo o AF foram novamente pesados para posterior quantificação dos teores de AH e AF do lixiviado. Este procedimento foi repetido para todas as 7 análises das amostras do lixiviado.

ANEXOS

ANEXO A – Escritório Bio-C.



Fonte: Material da empresa, 2022.

ANEXO B – Leiras de Compostagem.



Fonte: Material da empresa, 2022.