

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E AMBIENTAL DA ADIÇÃO DE DIFERENTES TAXAS DE RESÍDUOS DE AREIA VERDE DE FUNDIÇÃO A COMPOSTO MATURADO OBTIDO DE UM PROCESSO AUTOMATIZADO

* Carlos Atalla Hidalgo Hijazin ¹
Thais Gularte Marques ²
Beatriz Alicia Firpo Vasquez ¹
Rejane Maria Candiota Tubino ¹

TECHNICAL AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF MULTIPLE RATE APPLICATIONS OF GREEN FOUNDRY SAND WASTE TO MATURED COMPOUND OBTAINED FROM AN AUTOMATED PROCESS

Recibido el 1 de octubre de 2023. Aceptado el 8 de enero de 2024

Abstract

*This study presents the results of the addition of different rates of waste green foundry sand (WGFS) and commercial substrate to a compost, obtained from the composting of organic solid waste (OSW) segregated from urban solid waste. The WGFS, as it has a sandy texture, due to silica (SiO₂), when used directly in the soil, makes it more permeable, causing its impoverishment due to a greater leaching of nutrients. The OSW, when disposed directly on the soil, generates leachate, biogas and water contamination. Currently, in Brazil, most OSW is sent to sanitary landfills and WGFS to non-hazardous industrial landfills. However, the high cost, the scarcity of areas and the increasingly demanding legislation for the disposal of this waste, have led industries and municipalities to seek alternatives for the reuse of WGFS and treatment of OSW. The methodology of this work begins with obtaining a compost produced from a composting system with automated monitoring of temperature, aeration rate and humidity. After obtaining this product, it was mixed with different rates of WGFS and commercial substrate and later the fertility of these materials was evaluated. To verify the use of these mixtures in agriculture, the nutrients of the plant tissue of *Avena Strigosa* Schreb (black oat) cultivated in these media were evaluated. The results indicate that there is the potential for using these mixtures as a plant substrate at a rate of 10-20% WGFS or as a corrective for soil acidity at a rate of 10-30% WGFS.*

Keywords: waste green foundry sand, black oats, composting, organic solid waste, automation.

¹ Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Brasil.

² School of Geography, Environment and Earth Sciences, Victoria University of Wellington. New Zealand.

* Autor correspondiente: PPGE3M, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500, Setor 6, Bairro Agronomia, Porto Alegre, RS, CEP: 91501-970. Brasil. Email: carloshijazin@hotmail.com

Resumo

Este estudo apresenta os resultados da adição de diferentes taxas de resíduos de areia verde de fundição (RAVF) e substrato comercial a um composto, obtido da compostagem do resíduo sólido orgânico (RSO) segregado do resíduo sólido urbano (RSU). O RAVF, por apresentar textura arenosa, devido à sílica (SiO_2), quando utilizado diretamente no solo, torna-o mais permeável causando o seu empobrecimento devido a uma maior lixiviação de nutrientes. O RSO, quando disposto diretamente no solo, gera chorume, biogás e contaminação da água. Atualmente, no Brasil, a maior parte do RSO é enviada para aterros sanitários e RAVF para aterros industriais não perigosos. No entanto, o alto custo, a escassez de áreas e a legislação cada vez mais exigente para a disposição destes resíduos, têm levado as indústrias e os municípios a buscarem alternativas para reuso do RAVF e tratamento do RSO. A metodologia deste trabalho inicia-se com a obtenção de um composto produzido de um sistema de compostagem com monitoramento automatizado de temperatura, taxa de aeração e umidade. Após a obtenção deste produto, ele foi misturado com diferentes taxas de RAVF e substrato comercial e posteriormente foi avaliada a fertilidade destes materiais. Para verificar a utilização destas misturas na agricultura foram avaliados os nutrientes do tecido vegetal da *Avena Strigosa Schreb* (aveia preta) cultivada nestes meios. Os resultados indicam que há o potencial para utilização destas misturas enquanto substrato vegetal na taxa de 10-20% de RAVF ou como corretivo para a acidez de solos na taxa de 10-30% de RAVF.

Palavras-chave: resíduo de areia verde de fundição, aveia preta, compostagem, resíduos sólidos orgânicos, automação.

Introdução

O crescimento humano e industrial tem provocado uma diversidade de impactos ambientais, tais como o aumento de demanda de energia com o consequente esgotamento de recursos não renováveis e uma grande geração de resíduos sem destinação adequada que causam empobrecimento do solo, poluição ambiental e consequentes mudanças climáticas.

Dois resíduos gerados em grandes volumes em nível mundial são os resíduos sólidos urbanos (RSU), com cerca de 2.01 bilhões de t/ano (Kaza *et al.*, 2018) e o resíduo industrial areia descartada de fundição (ADF) com uma produção aproximada de 6 a 10 milhões de t/ano (Bhimani *et al.*, 2013). A fundição compreende todo processo de fusão e vazamento de metal líquido em caixas de moldagem, com machos montados em seu interior, que caracterizará a peça após a solidificação do metal. Os moldes são formados pela compactação da areia sobre o modelo e conformam as faces externas da peça, os machos constituem-se em cavidades ou espaços vazios e conformam as suas faces internas (Carnin, 2008).

As ADF podem ser distinguidas em dois tipos principais que são a areia verde de fundição (AVF) cujo ligante é a argila bentonita ($4\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) e a areia ligada quimicamente (ALQ) com diferentes ligantes, como por exemplo, resina fenólica ou furânica (Scheunemann, 2005). De acordo Siddique e Noumowe (2008) a AVF é utilizada em mais de 90% da produção de peças

fundidas, sendo composta essencialmente por areia de sílica (SiO_2) de alta qualidade (85-95%), aglomerante argila de bentonita (4-10%), aditivos carbonáceos (2-10%) e água (2-5%).

O termo “verde” recebido na nomenclatura da AVF é devido ao molde deste tipo de areia não sofrer secagem antes do vazamento do metal líquido (Carnin, 2008). O resíduo resultante do seu descarte, no processo de desmoldagem de peças fundidas, é denominado resíduo de areia verde de fundição (RAVF). Este resíduo, por apresentar em sua constituição Al, Fe e Mn acima do valor máximo permitido pelos padrões para o ensaio de solubilização segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004) é clasificado como Classe II-A, não perigoso e não inerte (Carnin, 2008).

As empresas ao redor do planeta, descartam um enorme percentual do RAVF em pequenos aterros industriais Classe II-A, próprio ou de terceiros. A maioria deles, já se encontram com as suas capacidades esgotadas, tendo que ser fechados, ocorrendo a obrigatoriedade do seu envio para aterros maiores (UE, 2018). A logística necessária, neste caso, eleva os custos com transporte e energia para as indústrias metalúrgicas.

Devido ao RAVF apresentar uma grande quantidade de metais em sua constituição, sua disposição no aterro deve ser controlada através de análises químicas das águas subterrâneas e de amostras de solos coletadas ao longo do seu perfil. Estudos realizados por Penkaitis e Sígolo (2012) em um aterro Classe II-A, demonstraram elevadas concentrações dos metais Fe, Mn, B e Se, nas águas subterrâneas, especialmente nos piezômetros a jusante do aterro, onde se encontrava a área de disposição do resíduo. Utilizando a técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram encontrados incrustados nos grãos de quartzo das amostras de solos os metais Al, Fe, Mn, além de elementos potencialmente tóxicos como Cr, Cu, Co, Ni e Zn. Estes resíduos foram clasificados como Classe II, não perigosos, segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004).

A disposição do RAVF em solos deve ser cautelosa. A elevada quantidade de SiO_2 deste resíduo, faz com que ocorra uma maior drenagem de água, lixiviando os nutrientes deste compartimento ambiental. Domingues *et al.* (2016) realizaram experimentos misturando o RAVF em solos lateríticos argilosos, com vistas a aplicação geotécnica para cobertura de aterros sanitários. Os resultados encontrados mostraram-se viáveis para a correção granulométrica para este tipo de solo. O coeficiente de permeabilidade encontrado para esta mistura foi baixo ($k < 10^{-6}$ cm/s), ficando dentro do previsto em normas de execução para aterros sanitários.

De acordo com Carnin (2008), a disposição do RAVF em solos agrícolas ou na compostagem é mais restrita. Pesquisas foram realizadas na Espanha e na Finlândia envolvendo a compostagem de resíduos de ALQ (fenólicas, furânicas e de silicato) e de RAVF (UE, 2018). Estes países construíram um total de 28 pilhas de compostagem, adicionando-se diferentes taxas de ADF ao RSO. Os resultados encontrados mostraram potencial de aplicação das ADF em geoengenharia e

na agricultura. A chave para a aceitação deste resíduo nestas aplicações mais limitadas é a realização de um maior número de pesquisas para aprovação dos órgãos ambientais, de modo que possam ser desenvolvidas legislações específicas para esta finalidade a nível global.

Matéria orgânica (M.O.), papel, papelão, tecidos, materiais poliméricos, vidro, madeira, metais ferrosos e não ferrosos são os componentes predominantes da composição física dos RSU. Este resíduo, por apresentar constituintes que se solubilizam em água, são considerados Classe II-A (Alfaia, Costa e Campos, 2017). No Brasil, 61% dos RSU coletados, é encaminhada para aterros sanitários, 39% destes resíduos ainda são dispostos inadequadamente em lixões ou aterros controlados (ABRELPE, 2022).

Estudos de Kaza *et al.* (2018) demonstraram que aproximadamente 46% dos RSU, enviados para os aterros sanitários, são constituídos de resíduos sólidos orgânicos (RSO). Os RSO segregados dos RSU, são considerados biofertilizantes classe B, de acordo com a IN 61/2020 (MAPA, 2020). Estes resíduos, quando dispostos em aterros, são decompostos constituindo-se em fontes contínuas de poluição da água, solo, ar, flora e fauna, devido à proliferação de vetores, geração de chorume e emissão do gases de efeito estufa (GEE), principalmente o metano (CH₄), que alteram as condições climáticas do planeta (ABRELPE, 2022).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010 (Brasil, 2010), não permite que os RSO compostáveis sejam enviados para aterros. Ela estabelece a seguinte prioridade na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos: não geração, redução, reuso, reciclagem, tratamento e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, ou seja, dos resíduos sólidos que não apresentem possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis (Brasil, 2010).

A presente pesquisa inicia-se com a segregação do RSO do RSU de uma estação de transbordo pertencente ao Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU) de Porto Alegre, RS-Brasil. Este resíduo foi compostado em um sistema de compostagem com aeração forçada, construído em escala piloto, utilizando-se uma bombona de polietileno de alta densidade (PEAD) de 200 L e um dispositivo (protótipo), onde foram inseridos sensores que monitoraram, de forma *online*, a temperatura e umidade ao longo do processo de maturação do produto. O sistema automatizado contou também com o controle da injeção de ar do soprador na M.O., através do sistema liga e desliga de um relé.

O composto obtido no sistema automatizado foi misturado a diferentes taxas do RAVF e do substrato comercial (0-50% m/m). A viabilidade técnica para possível reuso do RAVF baseou-se em análises químicas de fertilidade das misturas, da matéria seca (MS), na análise das dimensões lineares (comprimento e largura) e de tecido vegetal da *Avena Strigosa* (aveia preta). Por meio dos resultados, determinou-se quais misturas são mais adequadas na composição de substratos. Entende-se que tais substratos poderão ser utilizados em áreas de baixa fertilidade.

Metodologia

O fluxograma do processo adotado, com as diferentes etapas desta pesquisa, pode ser visualizado na Figura 1. Os procedimentos e materiais utilizados em cada uma das etapas do delineamento da pesquisa são descritos a seguir.

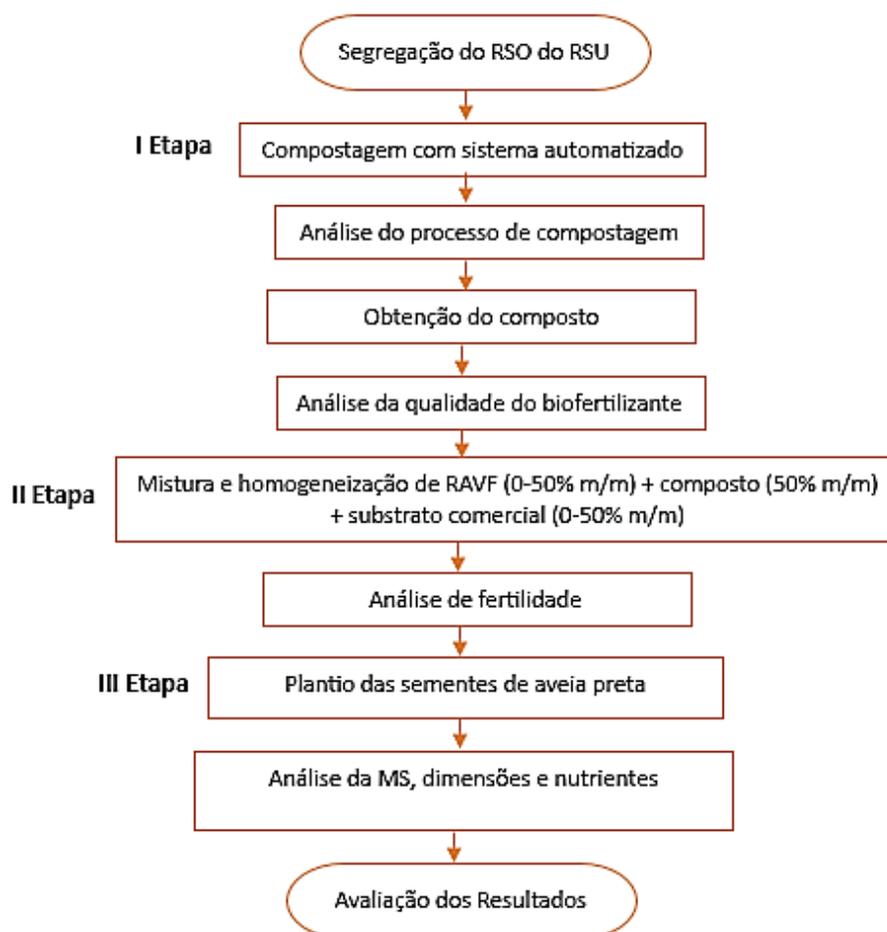


Figura 1. Fluxograma do processo adotado com as etapas da pesquisa.

Compostagem com sistema automatizado

Esta etapa da pesquisa iniciou-se com a construção de um protótipo constituído de dois tubos de 60cm de policloreto de vinila (PVC), colocados um dentro do outro e de uma planta piloto, com aeração forçada, construída com uma bombona de 200L de PEAD. Ambos tubos do protótipo

foram cortados em três pontos: à 15cm, 35cm e 55cm a partir de suas pontas (Figura 2a). Estas posições foram definidas, tomando-se como referência a altura da bombona (84cm), de modo a de modo a permitir a inserção de sensores de umidade de solo (SENO 193) e temperatura (DHT22) na base, meio e topo do sistema. Os sensores foram protegidos por telas. Ao operar, o tubo externo rotaciona, fechando as aberturas do tubo interno, ou abrindo-as para o registro dos parâmetros físicos, ao longo da compostagem. A leitura dos dados foi feita de forma *online* com armazenamento de dados em cartão Micro SD. O controle de aeração do soprador (STANLEY, 600W) com seis faixas de vazões (6.1–31.0 L/s) foi realizado por um relé de 5V. Os sensores e o relé da planta piloto foram conectados a uma placa arduíno Mega 2560 protegida dentro de uma caixa. As ligações dos sensores com a placa, bem como o estudo dos algoritmos do arduíno, levaram em conta pesquisas realizadas, com substrato comercial, por Hijazin *et al.* (2020).

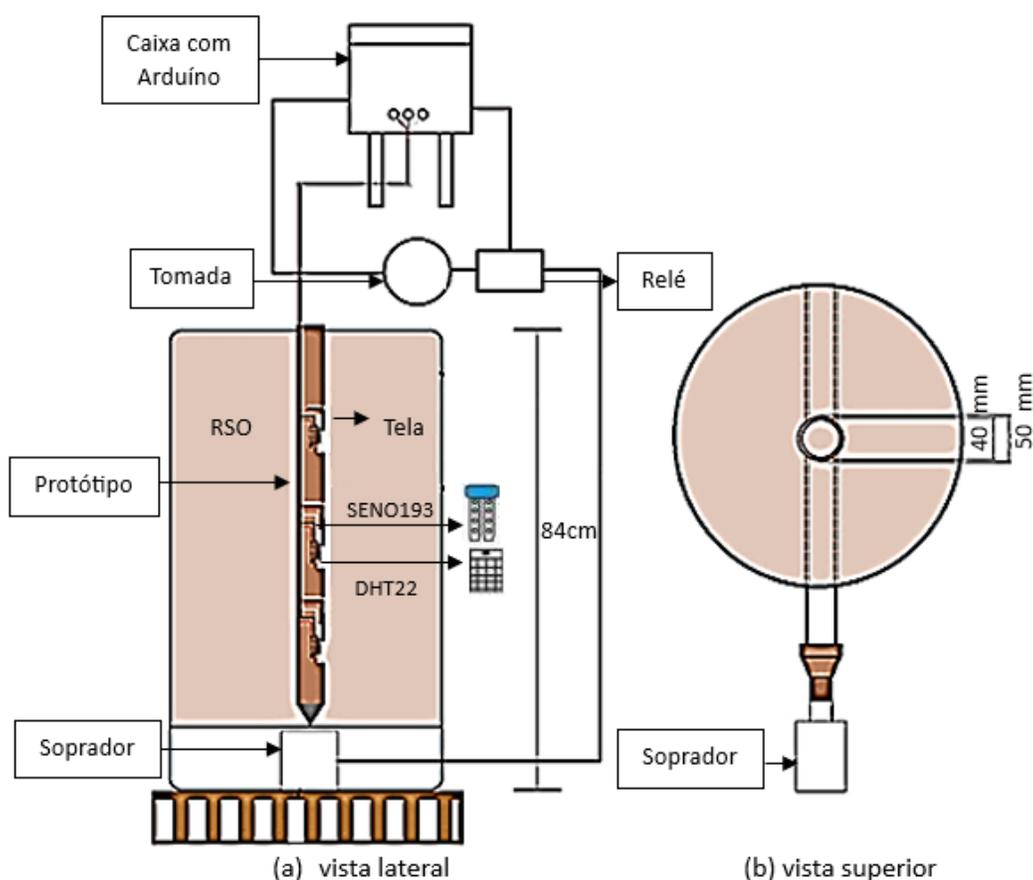


Figura 2. Layout da planta piloto automatizada com o protótipo: a. vista lateral e b. vista superior.

Os limites da umidade e temperatura do processo de compostagem devem ser monitorados para o controle da atividade microbológica dos microrganismos (bactérias heterotróficas, actinobactérias e fungos) decompositores dos RSO. A umidade quando está deficiente, abaixo de 40%, reduz a decomposição da M.O, valores maiores que 60% bloqueiam a sua porosidade, causando anaerobiose e odor, ocorrendo a fermentação do processo (CEMPRE, 2018). De acordo Oliveira Filho *et al.* (2017) a temperatura afeta o desenvolvimento dos microrganismos, cada um deles apresenta uma faixa adequada para o crescimento: psicrófilos (15° a 20°C), mesófilos (25° a 40°C) e termófilos (50° a 60°C). Acima de 45°C, os mesófilos podem morrer, uma pequena parcela de fungos cresce acima de 50°C, acima de 60°C ocorre a letalidade de microrganismos termófilos e actinobactérias. Os limites inferiores e superiores de temperatura e umidade, utilizados no processo de compostagem, para os algoritmos (programas) do arduíno, bem como para o sistema liga-desliga do soprador (ciclo de aeração) são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros físicos e de aeração utilizados nos algoritmos do arduíno para o processo de compostagem

| Parâmetros | Limites | Unidades |
|------------------------------|------------------------|----------|
| Temperatura | 40.0-60.0 ^a | °C |
| Umidade | 40.0-60.0 ^a | % (m/m) |
| Sistema liga-desliga do relé | 10-30 ^b | min |

Fonte: a- CEMPRE (2018); b-Autor

Mistura do composto com diferentes taxas de RAVF e substrato comercial

Nesta etapa foram misturadas, e homogeneizadas, uma proporção fixa de 50% (m/m) de composto com taxas de 0-50% (m/m) de RAVF e substrato comercial (Tabela 2). Posteriormente avaliou-se a fertilidade destes materiais. As misturas foram colocadas em 18 vasos de polipropileno (PP) para a realização de um experimento com delineamento em blocos casualizados com 6 tratamentos e 3 repetições.

Tabela 2. Composição das misturas para os diferentes tratamentos propostos % (m/m)

| Tratamento | Composição |
|------------|--|
| A | 0% RAVF+50%substrato comercial+50% composto |
| B | 10% RAVF+40%substrato comercial+50% composto |
| C | 20% RAVF+30%substrato comercial+50% composto |
| D | 30% RAVF+20%substrato comercial+50% composto |
| E | 40% RAVF+10%substrato comercial+50% composto |
| F | 50% RAVF+0%substrato comercial+50% composto |

Plantio, dimensões lineares, análise de nutrientes e MS da aveia preta

Sementes de *Avena Strigosa Schreb* (aveia preta), do genótipo EMBRAPA 139, foram selecionadas para o plantio nos vasos dos diferentes tratamentos e repetições. Esta gramínea foi escolhida por ser muito utilizada na região sul do Brasil, para a pastagem do gado, cobertura de solos e adubação verde. Foram adicionadas 20 sementes em cada vaso, com profundidade de sementeira de 3cm. Na Figura 3, é possível observá-las, seu processo de germinação e a sua fase reprodutiva, onde foi efetuado o seu corte para posterior avaliação do tecido vegetal.

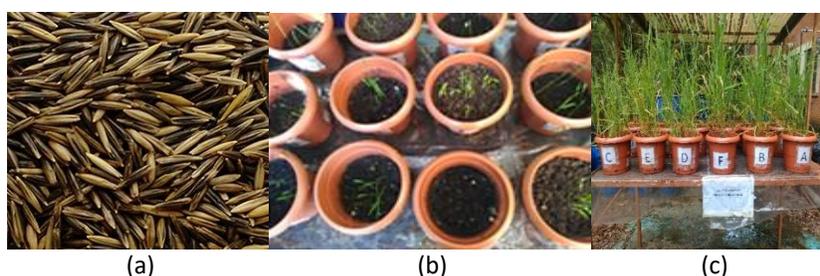


Figura 3. Aveia preta: sementes(a), germinação (b) e fase reprodutiva (c).

As dimensões da aveia preta foram medidas para cada um dos tratamentos e repetições inicialmente com régua milimetrada e após trena. As medições das lâminas foram realizadas a partir da lígula exposta até a extremidade oposta das folhas, elas ocorreram 3 vezes por semana, até o final da fase reprodutiva da gramínea (104 dias após o plantio das sementes). No final deste período, ocorreram as medições das suas larguras foliares, comprimentos aéreos (colmos+folhas) e radiculares. A largura foliar foi medida considerando-se a maior dimensão perpendicular ao eixo do comprimento. A Tabela 3 apresenta as dimensões da aveia preta e MS cultivada em solos naturais. Estes padrões foram utilizados como comparativos para as misturas dos diferentes tratamentos.

Tabela 3. Dimensões e MS da aveia preta cultivada em solos naturais

| Características | Unidade | Padrão |
|----------------------------|---------|-------------------------|
| Comprimento da parte aérea | cm | > 60.0 ^a |
| Comprimento radicular | cm | 0.0 – 20.0 ^b |
| Largura foliar | mm | 5.5-22.0 ^a |
| Comprimento foliar | cm | 14.0 -40.0 ^a |
| MS* | % (m/m) | 18.6 ^c |

Fonte: a- EMBRAPA (2000); b- Fante Junior et al. (1999); Mazocco (2019). * genótipo EMBRAPA 139.

A totalidade do tecido foliar (tratamento e repetições) da aveia preta de cada vaso foi cortado e armazenado em sacos de papel pardo, com identificação. Logo em seguida estas amostras foram secas em estufa de ar forçado a 65°C, até peso constante, para quantificação da MS e posterior moagem para análise de nutrientes. O tecido radicular de cada vaso foi separado manualmente do solo, com auxílio de um pincel e após lavado em água desmineralizada. Procedeu-se inicialmente a desidratação das raízes em bandejas, após adotou-se as mesmas condições de secagem, armazenamento e análises do tecido foliar.

Resultados e discussões

Os resultados apresentados e discutidos, referem-se às análises dos dados obtidos ao longo e ao final do processo de compostagem. Também são apresentados os resultados das análises de fertilidade das misturas, formadas com as diferentes taxas de RAVF, e das dimensões, MS e nutrientes do tecido vegetal da aveia preta.

Taxa de aeração

Os tempos do sistema liga-desliga do soprador adotados para o processo de compostagem foram de 10 min ligado para 30 min desligado (Tabela 1), equivalente a 36 ciclos/dia. Estes tempos foram determinados, adotando-se como padrão a taxa de aeração de 1.0 L/min.kg (Ruggieri *et al.*, 2008). A massa de RSO compostada foi de 188.09 kg e a vazão de ar do soprador de 14 L/s. A taxa de aeração do processo, calculada com estes parâmetros, foi de 1.1 L/min.kg, semelhante à adotada como referência.

Controle da temperatura e umidade dos sensores

Em relação às posições das leituras dos sensores de temperatura DHT22 na bombona (topo, meio e fundo), verificou-se que: o sensor topo realizou a leitura por 3 dias, o do meio por 59 dias e o do fundo por 91 dias (Figura 4), estas diferenças de tempos de leitura se devem à redução do volume de resíduos (recalque) associado à biodegradação do RSO.

Em nenhum momento, ao longo do processo, foi registrado o limite superior de 60°C. A compostagem ocorreu predominantemente na faixa mesófila. A fase termófila aconteceu por um período de 5 dias, a maior temperatura atingida foi de 54 °C registrada pelo sensor do meio. Nesta posição foram registrados os maiores valores desta propriedade física. Atribui-se este fato devido ao sensor do topo ter ficado em contato, a maior parte de tempo, com o ar externo ao resíduo compostado, ficando os seus registros condicionados à temperatura ambiente e o do fundo em contato com o chorume, do material decomposto, o que dificultou a decomposição da M.O. e consequente liberação de calor pelas bactérias aeróbias. Ao final do processo a temperatura do composto ficou 3,1°C acima da temperatura ambiente, dentro do padrão (3-5°C) proposto por Barros (2012).

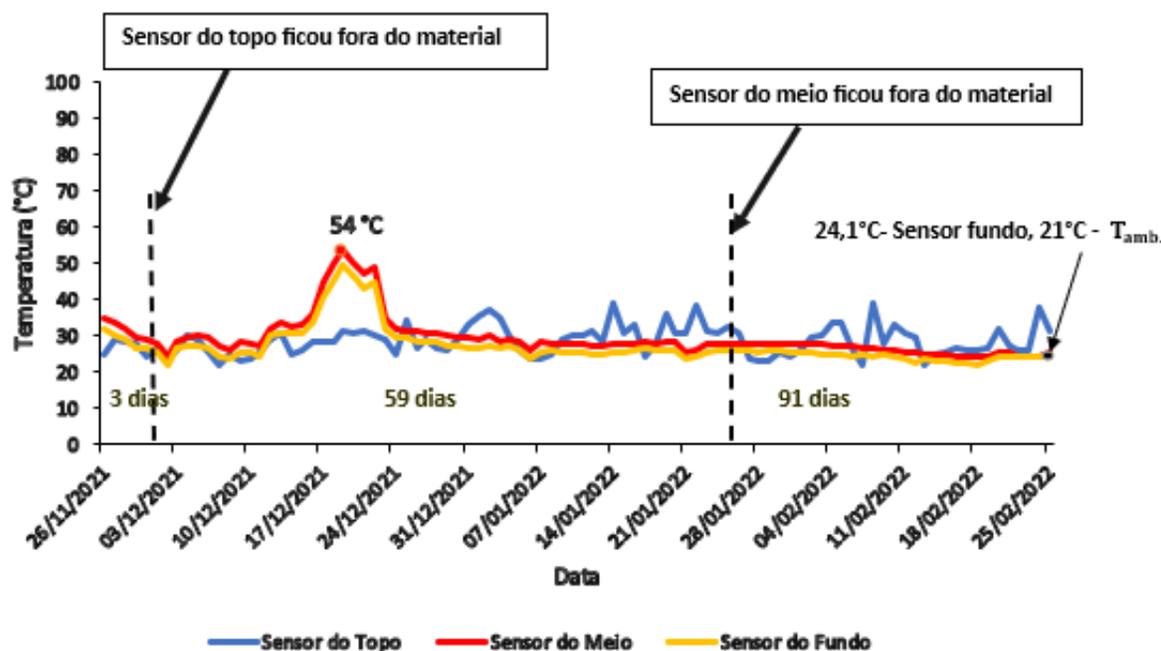


Figura 4. Registros de temperaturas dos sensores DHT22, ao longo do processo de compostagem.

Os períodos de contato dos sensores de umidade SENO193 e as suas posições de leitura são idênticas aos sensores de temperatura. Foram registrados valores de umidade acima de 60%, havendo necessidade do relé ser ligado para injeção de ar em vários momentos. Como era esperado, devido ao contato da M.O. com o chorume, o sensor do fundo registrou os maiores valores de umidade ao longo do processo. A umidade ficou abaixo do limite inferior programado, de 40%, nos sensores do meio e fundo, ao longo de 3 dias, atingindo um valor mínimo de 36% (Figura 5). Desta forma, houve necessidade de recirculação da totalidade do volume de 4,4L do chorume gerado no processo, para aumentar a umidade do material, pois ainda o composto não se encontrava bioestabilizado. Amostras da M.O. foram coletadas, ao longo e no final do processo da compostagem, e enviadas para análise laboratorial para verificação da umidade (pontos mostrados na Figura 5), os valores encontrados foram semelhantes às leituras *online* dos sensores SENO 193.

A estabilização do composto ocorreu após 91 dias da compostagem, quando os padrões de qualidade mostrados na Tabela 4, foram atingidos. A massa total coletada ao final do processo foi de 12.57 kg, ou seja, houve uma redução de 93% (m/m) no processo. O recalque final, medido a partir do topo da bombona, foi de 42cm.

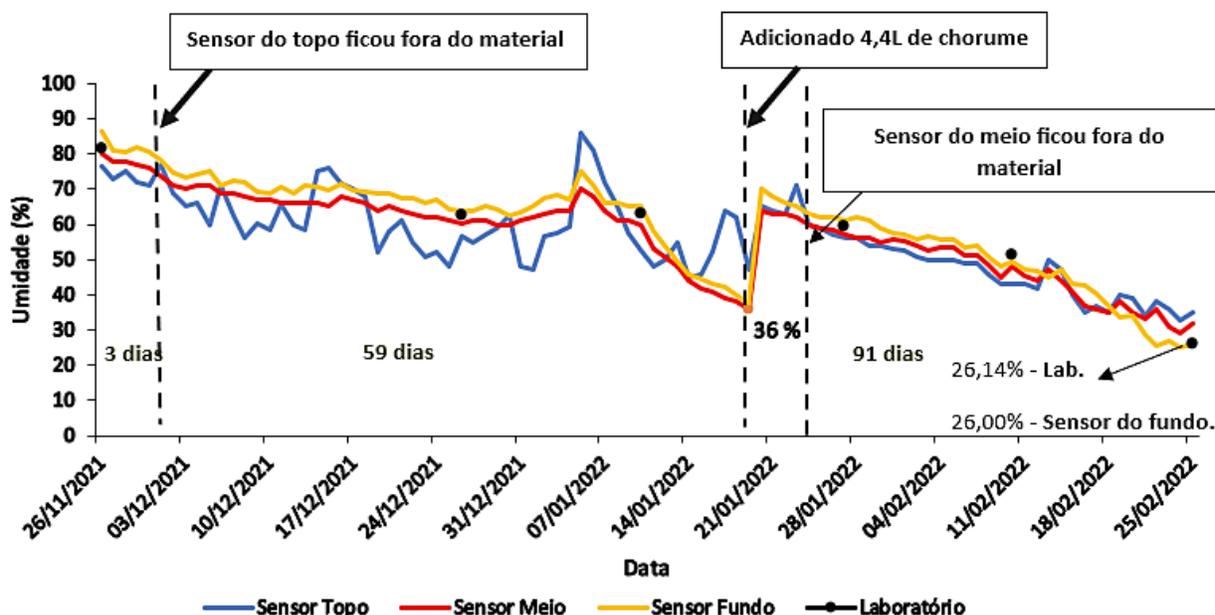


Figura 5. Registros das umidades medidas em laboratório e pelos sensores SENO193, ao longo do processo de compostagem.

Controle de qualidade do composto

Os resultados obtidos através da leitura dos sensores de umidade e temperatura e das análises laboratoriais, físico-químicas e biológicas, bem como o padrão adotado para análise da verificação da qualidade do composto e sua certificação são mostrados na Tabela 4. Avaliando-se esta tabela verifica-se que os resultados dos parâmetros químicos, carbono orgânico, condutividade elétrica, relação C/N (carbono/nitrogênio) e pH, do composto, ficaram dentro das especificações adotadas. A propriedade química capacidade de troca catiônica (CTC) ficou acima do padrão. Este resultado é favorável, pois quanto maior a CTC maior a capacidade do biofertilizante doar nutrientes. Os parâmetros físicos, densidade, temperatura e umidade do produto obtido, também atenderam os limites adotados. Os microrganismos, coliformes termotolerantes e *Salmonella sp.*, não foram encontrados no biofertilizante. Estes resultados são importantes, pois as temperaturas para a sua sanitização não foram atingidas no processo. A temperatura recomendada para destruição de patógenos é acima de 55°C por um período de 14 dias ou acima de 65°C por um período de 3 dias (CONAMA 481, 2017).

Em relação aos nutrientes mostrados na Tabela 4, verifica-se que os macronutrientes primários N, P e K apresentaram valores acima das garantias mínimas exigidas isoladamente para o produto. Os

macronutrientes secundários Ca, Mg e S não apresentaram as garantias mínimas, de qualidade, exigidas isoladamente para o produto. No entanto como a soma NPK é maior que 5%, a qualidade do produto ficou garantida (MAPA, 2020). Os micronutrientes Mo, Si, B, Co, Cu, Ni e Se, não foram detectados, Zn e Mn ficaram com % (m/m) abaixo do padrão, o Cl e o Fe ficaram com % (m/m) acima do padrão. Apesar de alguns micronutrientes não estarem presentes no composto ou ficarem abaixo do padrão, a sua soma percentual total adicionada aos macronutrientes, apresentaram valores maiores que 5%, o que garante a qualidade do produto (MAPA, 2020). Não foram detectados os metais tóxicos As, Cd, Pb, Hg, Cu, Cr, Co e Ni no composto. A concentração do metal tóxico Zn encontrada, de 74.8 mg/kg, ficou abaixo do padrão de 200 mg/kg (MAPA, 2014).

Tabela 4. Padrões de qualidade para certificação de compostos

| Parâmetro | Unidade | Resultado | Padrão |
|---------------------------------------|------------------------------------|---------------|---------------------------------|
| Carbono Orgânico (mín.) | % (m/m) | 26.400 | 15.000 ^a |
| Temperatura (sensor DHT22) | Mesófila | 21.600-36.000 | 20.000-40.000 ^c |
| | Termófila | 42.020-54.000 | 40.000-60.000 ^c |
| Densidade | kg/m ³ | 266.100 | 150.000-350.000 ^b |
| Condutividade Elétrica (máx.) | mS/cm | 2.600 | < 4.000 ^d |
| Relação C/N (máx.) | - | 13.300 | 20.000 ^a |
| pH | Inicial | 6.730 | 5.000 – 6.000 ^d |
| | Composto | 8.930 | 8.000-9.500 ^d |
| Umidade (laboratório/sensor SENO 193) | % (m/m) | 26.140/26.000 | ≤ 50.000 ^a |
| CTC | cmol _c /kg | 38.510 | 30.500-31.700 ^e |
| Coliformes Termotolerantes | NMP/g de MS | ausentes | 1000.000 ^f |
| <i>Salmonella sp.</i> | g de MS | ausentes | ausência em 10.000 ^f |
| Macronutrientes Primários | N (N) | 1.800 | 1.000 ^a |
| | P (P ₂ O ₅) | 1.070 | 1.000 ^a |
| | K (K ₂ O) | 3.560 | 1.000 ^a |
| Macronutrientes Secundários | Ca | 0.830 | 1.000 ^a |
| | Mg | 0.630 | 1.000 ^a |
| | S | 0.200 | 1.000 ^a |
| Micronutrientes | B | ND* | 0.010 ^a |
| | Cl | 1.120 | 0.100 ^a |
| | Co | ND | 0.005 ^a |
| | Cu | ND | 0.020 ^a |
| | Fe | 0.079 | 0.020 ^a |
| | Mn | 0.010 | 0.020 ^a |
| | Mo | ND | 0.005 ^a |
| | Ni | ND | 0.005 ^a |
| | Se | ND | 0.003 ^a |
| | Si | ND | 0.050 ^a |
| | Zn | 0.070 | 0.100 ^a |

Fonte: a- MAPA (2020); b-Barros (2012); c- CEMPRE (2018); d- Dhein et al. (2020); e-Melo et al. (2008); f- MAPA (2014). * ND= Não detectado.

Análise de fertilidade das misturas

Os parâmetros de fertilidade das misturas do composto com diferentes taxas de RAVF e substrato comercial são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5. Parâmetros de fertilidade das misturas dos diferentes tratamentos propostos

| Parâmetros de Fertilidade | Unidades | Tratamentos | | | | | | Padrão |
|----------------------------------|------------------------------------|-------------|---------|---------|---------|--------|--------|--|
| | | A | B | C | D | E | F | |
| Argila | % (m/m) | 13.00 | 12.00 | 15.00 | 14.00 | 13.00 | 14.00 | ≤ 20.00 (textura arenosa) ^a ≤ 2.50 (baixo) ^a |
| M.O. | % (m/m) | 6.90 | 5.60 | 5.50 | 5.70 | 2.60 | 2.50 | 2.60 - 5.00 (médio) ^a > 5.00 (alto) ^a |
| pH H ₂ O | - | 7.40 | 7.40 | 7.70 | 7.80 | 7.90 | 8.00 | < 5.50 (75% solos do Brasil) ^b = 5.50 (6% solos do Brasil) ^b > 5.50 (27% solos do Brasil) ^b |
| Al ³⁺ _{troc} | cmol _c /dm ³ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | ≤ 0.20 (muito baixo) ^c |
| Ca ²⁺ _{troc} | cmol _c /dm ³ | 3.30 | 3.70 | 2.60 | 2.90 | 3.30 | 2.90 | 2.10 – 4.00 (médio) ^a |
| Mg ²⁺ _{troc} | cmol _c /dm ³ | 5.60 | 4.80 | 3.30 | 3.10 | 2.90 | 2.00 | > 1.00 (alto) ^a |
| H + Al | cmol _c /dm ³ | 1.00 | 1.00 | 0.80 | 0.70 | 0.70 | 0.60 | < 2.51 (valor baixo) ^c |
| CTC | cmol _c /dm ³ | 12.54 | 12.11 | 9.37 | 9.30 | 8.54 | 7.97 | 7.60– 15.00 (médio) ^a |
| T* | % | 92.03 | 91.74 | 91.46 | 92.47 | 91.80 | 92.47 | > 50% (eutrófico) ^d |
| P | mg/dm ³ | 196.20 | 176.60 | 202.60 | 193.50 | 52.70 | 82.70 | > 30.00 (muito alto) ^a |
| K | mg/dm ³ | 1034.00 | 1020.00 | 1043.00 | 1017.00 | 640.00 | 966.00 | > 120.00 (muito alto) ^a |
| S | mg/dm ³ | 22.83 | 20.71 | 22.72 | 22.26 | 11.10 | 13.11 | > 5.00 (alto) ^a |
| Zn | mg/dm ³ | 15.98 | 15.59 | 15.61 | 15.33 | 10.25 | 14.18 | > 0.50 (alto) ^a |
| Cu | mg/dm ³ | 54.47 | 50.60 | 55.85 | 53.78 | 23.37 | 33.97 | > 0.40 (alto) ^a |
| B | mg/dm ³ | 3.51 | 3.16 | 3.60 | 3.45 | 1.05 | 1.55 | > 0.30 (alto) ^a |
| Mn | mg/dm ³ | 292.70 | 266.84 | 294.88 | 283.81 | 106.07 | 148.04 | > 5.00 (alto) ^a |

Fonte: a- SBCS (2016); b- Mendes et al. (2019); c- Ribeiro et al. (1999); d-EMBRAPA (2018). Tratamentos: A (0%RAVF + 50%SUBS. + 50%COMP.), B (10%RAVF + 40%SUBS. + 50%COMP.), C (20%RAVF + 30%SUBS. + 50%COMP.), D (30%RAVF + 20%SUBS. + 50%COMP.), E (40%RAVF + 10%SUBS. + 50%COMP) e F (50%RAVF + 0%SUBS. + 50%COMP.). T* - Saturação da CTC por bases (%)

Em relação à textura e fertilidade, ou capacidade das misturas cederem elementos essenciais às plantas, verifica-se que todos os tratamentos (A-F) apresentaram textura arenosa, com elevados teores de nutrientes (P, K, S, Zn, Cu, B e Mn), sendo considerados portanto eutróficos, ou seja, férteis. Os teores mais elevados de M.O. foram encontrados com as taxas de 10-30% de RAVF adicionadas ao composto. O pH de todos os tratamentos propostos apresentou-se mais alcalino a medida que o percentual de RAVF aumentou. O teor elevado de nutrientes e a alta basicidade destas misturas, constitui-se em resultados importantes para uma possível utilização destes materiais produzidos, ainda que em taxas controladas, como corretivo para acidez de solos. Esta alternativa de reuso do RAVF é interessante de ser considerada, visto que 70% dos solos

cultivados no Brasil apresentam limitação considerável de fertilidade e tendem a apresentar caráter ácido (IPNI, 2017). De acordo com Santos *et al.* (2009), as classes latossolos e argissolos ocupam aproximadamente 58% da área do território brasileiro, constituindo-se em solos profundos, altamente intemperizados, ácidos, de baixa fertilidade natural e, em certos casos, saturados por alumínio. A acidez total (H+Al) encontrada, para todos os tratamentos, apresentou valores baixos, diminuindo à medida em que se aumentou o percentual de RAVF. Em relação às formas catiônicas, verificou-se que não foi encontrado em nenhum tratamento o cátion ácido Al_{troc}^{+3} , não ocorrendo, portanto, acidez trocável presente nas misturas. Os cátions básicos Ca_{troc}^{+2} e Mg_{troc}^{+2} apresentaram valores médios e altos respectivamente, estas condições são favoráveis para o fornecimento de nutrientes para as plantas. A CTC apresentou valores médios e diminuiu à medida em que se aumentou o percentual do RAVF.

Matéria seca (MS)

Os resultados encontrados, em relação à concentração de MS, radicular e foliar, da aveia preta cultivada nas diferentes misturas é mostrado na Figura 6. Observando-se esta figura verifica-se que os percentuais de MS radiculares, em todos os tratamentos, foram maiores que os foliares.

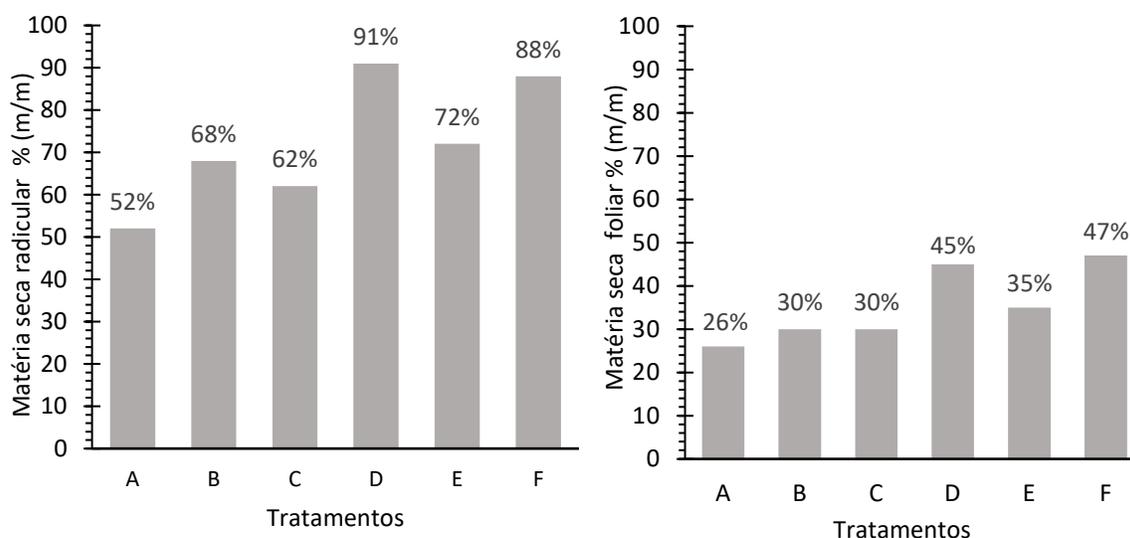


Figura 6. Matéria seca foliar e radicular da aveia preta para os 6 tratamentos, sendo A (0%RAVF + 50%SUBS. + 50%COMP), B (10%RAVF + 40%SUBS. + 50%COMP.), C (20%RAVF + 30%SUBS. + 50%COMP.), D (30%RAVF + 20%SUBS. + 50%COMP.), E (40%RAVF + 10%SUBS. + 50%COMP.) e F: (50%RAVF + 0%SUBS. + 50%COMP).

A análise de MS no tecido vegetal da aveia preta apresentou valores maiores que 18,6 % (m/m), encontrado por Mazzoco (2019), para o mesmo genótipo cultivado em solos naturais. Todos os tratamentos em que foram adicionados RAVF apresentaram maior MS que o tratamento A (branco), com 0% de RAVF. O percentual de 30% de RAVF foi o que apresentou maior percentual de MS.

Dimensões Lineares

As dimensões do tecido vegetal da aveia preta cultivada nas diferentes misturas, são mostradas na Figura 7. Estas análises quantitativas são úteis para apreciar as interações entre plantas e os ambientes em que vivem, fornecendo informações mais detalhadas do que simplesmente a determinação da produção de MS. De acordo com Peixoto *et al.* (2011), um controle da produtividade só é possível, conhecendo-se os fatores que atuam sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas.

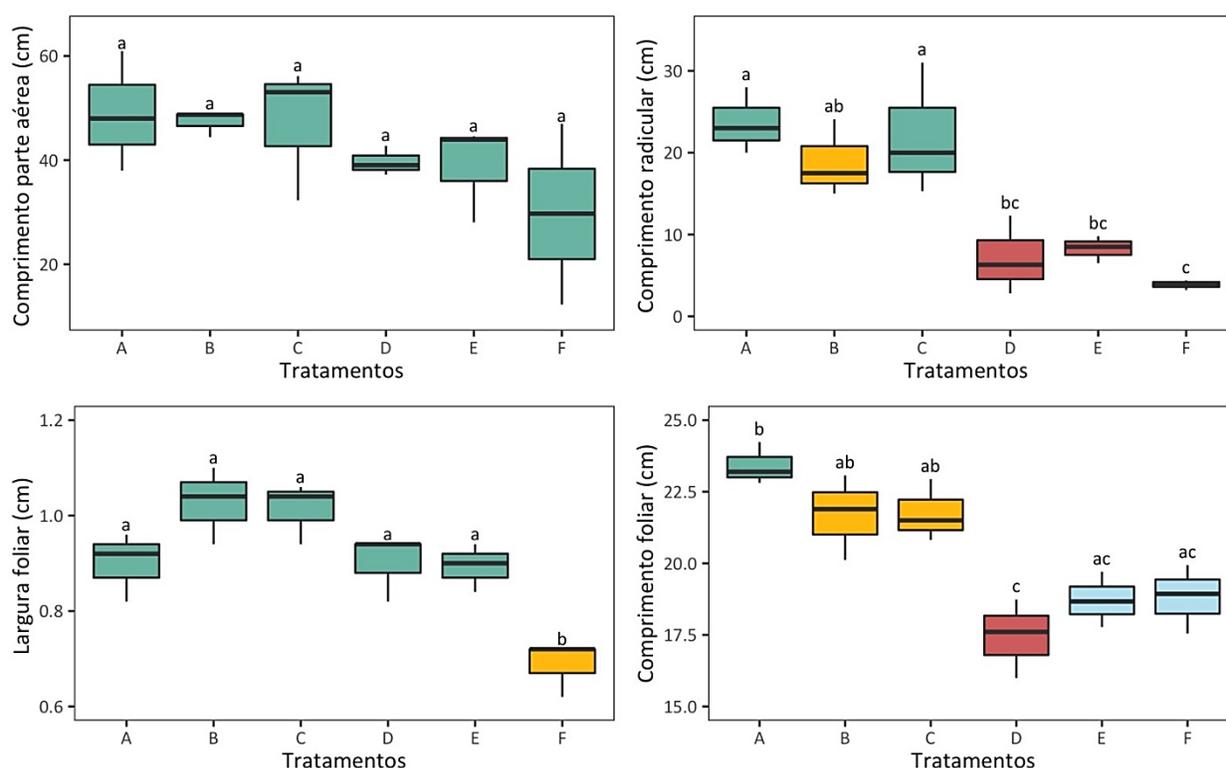


Figura 7. Comparação de médias (Tukey $p \leq 5\%$) das dimensões lineares da aveia preta para os 6 tratamentos, sendo A (0%RAVF + 50%SUBS. + 50%COMP.), B (10%RAVF + 40%SUBS. + 50%COMP.), C (20%RAVF + 30%SUBS. + 50%COMP.), D (30%RAVF + 20%SUBS. + 50%COMP.), E (40%RAVF + 10%SUBS. + 50%COMP.) e F: (50%RAVF + 0%SUBS. + 50%COMP.).

Avaliando-se a Figura 7, observa-se que o comprimento da parte aérea da aveia preta ficou abaixo do valor padrão de 60 cm, mostrado na Tabela 4, em todos os tratamentos. Os diferentes percentuais de RAVF adicionados ao composto, não influenciaram nesta dimensão (valores seguidos pela mesma letra no teste de Tukey com $p \leq 5\%$), o que se pode concluir que esta dimensão não foi atingida devido à qualidade do biofertilizante. Os tratamentos A, B e C não apresentaram diferenças significativas em relação ao comprimento foliar e radicular. O tratamento F com 50% de RAVF apresentou o menor crescimento radicular e diferença significativa da largura foliar em relação aos demais tratamentos. Os percentuais de 10 a 20% de RAVF adicionados ao composto foram os que apresentaram melhores resultados em relação às dimensões da aveia preta.

Nutrientes do tecido vegetal

Os nutrientes, minerais inorgânicos, avaliados do tecido vegetal da aveia preta cultivado nas misturas foram: N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe, Mn e B. Os resultados obtidos através das análises químicas são mostrados na Tabela 6. Adotou-se para avaliação, em termos de comparação, o padrão de cultura da aveia preta cultivada em solos naturais (SBCS, 2016).

Tabela 6. Nutrientes do tecido vegetal da aveia preta para os diferentes tratamentos propostos.

| Nutrientes | Tratamentos | Padrão | | | | | | | |
|---|-------------|-----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------------|-------------|
| | | A | B | C | D | E | F | | |
| Macronutrientes (g.kg ⁻¹) | N | Foliar | 22.0 | 25.0 | 20.0 | 21.0 | 20.0 | 20.0 | 20.0-30.0 |
| | | Radicular | 12.0 | 13.0 | 11.0 | 16.0 | 13.0 | nta** | |
| | P | Foliar | 2.6 | 3.3 | 2.5 | 2.8 | 2.1 | 2.5 | 2.0 - 5.0 |
| | | Radicular | 2.7 | 2.4 | 2.2 | 2.9 | 2.2 | 2.0 | |
| | K | Foliar | 42.0 | 76.0 | 39.0 | 62.0 | 37.0 | 38.0 | 15.0 - 30.0 |
| | | Radicular | 35.0 | 39.0 | 26.0 | 32.0 | 32.0 | 25.0 | |
| | Ca | Foliar | 0.7 | 1.9 | 1.4 | 1.1 | 0.7 | 1.3 | 2.5-5.0 |
| | | Radicular | 2.7 | 2.1 | 3.7 | 4.1 | 3.7 | 1.7 | |
| | Mg | Foliar | 1.5 | 2.3 | 1.0 | 1.4 | 0.8 | 0.9 | 1.5 -5.0 |
| | | Radicular | 3.4 | 2.5 | 2.3 | 2.4 | 1.5 | 1.5 | |
| | S | Foliar | 1.7 | 2.8 | 1.5 | 2.2 | 1.6 | 1.7 | 1.5 -4.0 |
| | | Radicular | 2.6 | 2.8 | 2.0 | 2.7 | 2.3 | 2.3 | |
| Cu | Foliar | 5.0 | 7.0 | 5.0 | 6.0 | 5.0 | 6.0 | 5.0 – 25.0 | |
| | Radicular | 11.0 | 9.0 | 11.0 | 15.0 | 10.0 | 11.0 | | |
| Zn | Foliar | 58.0 | 80.0 | 52.0 | 63.0 | 36.0 | 45.0 | 15.0 -70.0 | |
| | Radicular | 123.0 | 132.0 | 117.0 | 125.0 | 83.0 | 102.0 | | |
| Micronutrientes (mg.kg ⁻¹) | Fe | Foliar | 81.0 | 156.0 | 95.0 | 198.0* | 105.0 | 214.0* | 40.0 -50.0 |
| | | Radicular | 644.0 | 740.0 | 894.0 | 1500.0 | 752.0 | 1300.0 | |
| Mn | Foliar | 16.0 | 28.0 | 27.0 | 31.0 | 23.0 | 28.0 | 25.0 -100.0 | |
| | Radicular | 38.0 | 29.0 | 47.0 | 64.0 | 37.0 | 44.0 | | |
| B | Foliar | 9.0 | 14.0 | 14.0 | 17.0 | 15.0 | 20.0 | 5.0 – 20.0 | |
| | Radicular | 6.0 | 6.0 | 7.0 | nta** | 9.0 | nta** | | |

Fonte: SBCS (2016). * % (m/m) ** nta - não tem amostra. Tratamentos: A (0%RAVF + 50%SUBS. + 50%COMP.), B (10%RAVF + 40%SUBS. + 50%COMP.), C (20%RAVF + 30%SUBS. + 50%COMP.), D (30%RAVF + 20%SUBS. + 50%COMP.), E (40%RAVF + 10%SUBS. + 50%COMP) e F (50%RAVF + 0%SUBS. + 50%COMP.).

O tratamento B com 10% RAVF, foi o que forneceu a maior quantidade de nutrientes para o tecido vegetal da aveia preta, em relação aos demais. Este tratamento apresentou macronutrientes e micronutrientes no tecido foliar da gramínea com concentrações acima do tratamento A que apresenta 0%RAVF. Em relação ao tecido radicular, o tratamento B ficou com percentuais abaixo do branco para os nutrientes: P, Ca, Mg, Cu, Mn e B. No entanto, com exceção do Ca, todos estes nutrientes ficaram com concentrações dentro do padrão para esta gramínea.

O tratamento C, com 20% de RAVF apresentou a maioria dos seus nutrientes dentro do padrão, apenas o N radicular, o Ca e Mg foliar ficaram abaixo do padrão. O tratamento D, com 30% de RAVF, apesar de fornecer uma boa quantidade de nutrientes para a aveia preta, não apresentou biomassa radicular suficiente para a análise do nutriente B. Este tratamento apresentou também uma concentração de Fe foliar de 1500 mg.kg⁻¹, muito acima do padrão de 40-50 mg.kg⁻¹ recomendado. Os tratamentos E e F, com 40% e 50% de RAVF respectivamente, forneceram as menores quantidades de nutrientes para o tecido vegetal da aveia preta. O tratamento F, apresentou biomassa radicular insuficiente para análise dos nutrientes N e B e uma concentração de Fe foliar de 214% (m/m), este valor é muito superior ao padrão. Desta forma, em relação ao fornecimento de nutrientes para o tecido vegetal da aveia preta, os percentuais de 10-20% de RAVF foram os mais adequados.

Considerações finais

A compostagem ocorreu predominantemente na fase mesófila e mostrou-se eficiente com taxa de aeração de 1,1 L/kg.min, com redução de 93% (m/m) do material compostado. O monitoramento automatizado da temperatura e umidade contribuíram para o controle da aeração e para rega ao longo do processo de compostagem, e na obtenção de um biofertilizante classe B com qualidade garantida para a agricultura de acordo com a IN 61/2020 (MAPA, 2020).

Através da avaliação das análises químicas dos parâmetros de fertilidade verificou-se que as taxas de 10-30% de RAVF, por apresentarem alto teor de M.O., são as mais adequadas para serem adicionadas ao composto. Nestas taxas, estas misturas eutróficas (férteis) podem ser utilizadas como: corretivo para acidez de solos, composição de substratos, recuperação de áreas degradadas ou com baixo teor de húmus.

As dimensões de uma planta são úteis para acompanhar o seu crescimento. Apreciar as interações entre plantas e os ambientes em que vivem, fornecem informações mais detalhadas do que simplesmente a produção final de MS. As melhores dimensões para aveia preta foram atingidas com percentuais de 10-20% de RAVF. Os valores da % (m/m) da MS (foliar e radicular) aumentaram em todos os tratamentos em relação ao branco (0%RAVF). O maior valor obtido de MS total foi obtido com a taxa de 30% RAVF.

Os resultados obtidos através da análise dos nutrientes do tecido vegetal da aveia preta, mostraram que as taxas de 10-20% de RAVF adicionadas ao composto, forneceram uma maior quantidade de nutrientes para as raízes e folhas desta gramínea.

Os resultados encontrados das análises químicas, mostraram viabilidade ambiental para aplicação destas misturas a compostos e substratos, ainda que em taxas controladas de RAVF (10-30%), para correção de acidez de solos e disposição em áreas de baixo húmus, devido a elevada quantidade de matéria orgânica e pH alcalino presentes nestes percentuais. Para a agricultura, no caso específico, para o plantio da aveia preta, as taxas mais adequadas são de 10-20% de RAVF.

Assim, este estudo, além de demonstrar viabilidade técnica, verificada através das análises químicas, apresenta também viabilidade ambiental, ainda que em taxas controladas, para a aplicação do RAVF em compostos, substratos e na agricultura para o plantio da aveia preta. Esta pesquisa atende as prioridades da PNRS (Brasil, 2010) através da compostagem do RSO e do reúso externo do RAVF, não enviando-os para aterros, diminuindo, desta forma, passivos ambientais e custos para as indústrias metalúrgicas e municípios.

Referências

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004) *NBR 10004 - Resíduos sólidos – classificação*. ABNT, Rio de Janeiro, 71pp.
- ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2022) *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2022*. ABRELPE, São Paulo, SP, Brasil, 64pp. Acesso em: 05 ago.2023. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2022/>
- Alfaia, R.G. de S.M., Costa, A.M., Campos, J. C. (2017) Municipal solid waste in Brazil: A review. *Waste Management & Research*, **35**(12), 1195-1209. <https://doi.org/10.1177/0734242X17735375>
- Barros, R.T.V. (2012) *Elementos de Gestão de Resíduos Sólidos*, Tessitura, Belo Horizonte, 424pp.
- Brasil (2010) *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 de agosto de 2010. Seção 1, p.3.
- Bhimani, D.R., Pitroda, J., Bhavsar, J.J. (2013) A study of foundry sand: opportunities for sustainable and economical concrete. *Global Journal for Research Analyses*, **2**, 60-63. <https://doi.org/10.36106/gjra>
- Carnin, R.L.P (2008) *Reaproveitamento do resíduo de areia verde de fundição como agregado em misturas asfálticas*, Tese (Doutorado em Química), Programa de Pós Graduação em Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 152pp.
- CEMPRE, Compromisso Empresarial para Reciclagem (2018) *Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado*, 4a.ed., IPT/CEMPRE, São Paulo, SP, Brasil, 374pp. Acesso em: 21 ago.2023. Disponível em: <https://cempre.org.br/manuais>
- CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente (2017) *Resolução nº 481, de 3 de outubro de 2017; estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências*, Diário Oficial da União, DF, 9 de outubro de 2017. Seção 1, p.93.

- Dhein, F.F., Oliveira, P.S.R., Rorato, D.G., Rubio.F., Fugiharas, K.Y., Loebel, A.J.P. (2020) Caracterização de pH e condutividade elétrica de compostos orgânicos provenientes de mexilhão dourado, *XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020*, Congresso Online, Brasil, 23 a 25 de novembro de 2020. Acesso em: 27 ago. 2023. Disponível em: <https://conbea.org.br/anais/publicacoes/conbea-2020/anais-2020/saneamento-e-gestao-ambiental-sga/2569-caracterizacao-de-ph-e-condutividade-eletrica-de-compostos-organicos-provenientes-de-mexilhao-dourado/file>
- Domingues, L.G.F., Ferreira, G.C.S., Pires, M.G.S., Teixeira, I., Carnin, R. (2016) Caracterização ambiental de areias descartadas de fundição utilizadas na cobertura de resíduos em aterros sanitários, *XXII Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais*, Natal, RN, Brasil, 06 a 10 de novembro de 2016. Acesso em 05 ago. 2023. Disponível em: <https://www.metallum.com.br/22cbecimat/anais/PDF/104-011.pdf>
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2000), *Recomendações Técnicas para o Cultivo de Aveia*, Embrapa, Boletim de pesquisa nº6, São Carlos, SP, 39 pp. Acesso em: 22 ago. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/45809/recomendacoes-tecnicas-para-o-cultivo-de-aveia>
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2018) *Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS)*, 5a ed., Embrapa, Brasília, DF, 356pp. Acesso em: 21 ago. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos?link=sibcs>
- Fante Júnior, L.; Reichardt, K.; Jorge, L. A.C.; Bacchi, O.O.S. (1999) Distribuição do sistema radicular de uma cultura de aveia forrageira. *Scientia Agrícola*, **56** (4), 1091-1100. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161999000500010>
- Hijazin, C.A.H., Monaretto, M.O., Tubino, R.M.C. (2020) Análise do impacto do insuflamento de ar quente na mudança da temperatura e da umidade de um substrato, *11º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos*, 21 a 24 de setembro, Porto Alegre, RS, Brasil. *Anais*, **11** (11), 1-10. Acesso em: 02 set. 2023. Disponível em: <https://institutoventuri.org/ojs/index.php/FIRS/article/view/156>
- IPNI, *International Plant Nutrition Institute* (2017) *Informações Agronômicas nº160, dezembro de 2017; manejo da fertilidade do solo em pomares de frutíferas*. IPNI, Piracicaba, SP, Brasil, 14pp. <http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/11422D5849073C7983258210003DA5A8>
- Kaza, S., Yao, L. Bhata-Tata, P., Woerden, F.V. (2018) *What a Waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050*. World Bank Publications, Washington, 295pp. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>
- MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2014) *Instrução Normativa SDA nº17 de 18 de junho de 2014; Anexo VI -valores de referência utilizados como limites máximos de contaminantes admitidos em compostos orgânicos, resíduos de biodigestor, resíduos de lagoa de decantação e fermentação, e excrementos oriundos de sistema de criação com o uso intenso de alimentos e produtos obtidos de sistemas não-orgânicos*. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 20 de junho de 2014. Seção 1, p.32.
- MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2020) *Instrução Normativa SDA nº61, de 08 de julho de 2020; estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura*. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 de julho de 2020. Seção 1, p.5.
- Mazocco, L.A. (2019) *Avaliação de genótipos da aveia preta (Avena Strigosa Schreb) para a produção de forragem no bioma cerrado*, Monografia (Graduação em Agronomia), Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 33pp.
- Melo, L.C.A.; Silva, C.A.; Dias, B.O. (2008) Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origem diversificada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **32**(1), 101-110. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100010>

- Mendes, N.C., Laurent, A., Hauschild, M.Z. (2019) Effect factors of terrestrial acidification in Brazil for use in life cycle impact assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, **24**, 1105-117. <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1560-7>
- Oliveira Filho, J.G., Camara, C.P., Sousa, T.C.F., Cruz, I.A., Egea, M.B., Falcão, H.A.S., Silva, E.R. (2017) Caracterização microbiológica do processo de compostagem de resíduos orgânicos em pequena escala. *Colloquium Agrariae*, **13** (2), 130-136. <https://doi.org/10.5747/ca.2017.v13.n2.a168>
- Peixoto, C.P., Cruz, T.V., Peixoto, M.F.S. (2011) Análise quantitativa do crescimento de plantas: conceitos e prática. *Enciclopédia Biosfera*, **7** (13), 51-76. <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/4092>
- Penkaitis, G., Sígolo, J.B. (2012) Waste foundry sand. Environmental implication and characterization. *Geologia USP*, **12** (3), 57-70. <https://doi.org/10.5327/Z1519-874X2012000300004>
- Ribeiro, A.C., Guimarães, P.T.G., Alvarez, V.H. (1999) *Recomendações para o Uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação*, CFSEMG, Viçosa, MG, Brasil, 359pp.
- Ruggieri, L., Gea, T., Mompeó, M., Sayara, T., Sánchez, A. (2008) Performance of different systems for the composting of the source-selected organic fraction of municipal solid waste. *Biosystems Engineering*, **101** (1), 78-86. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.05.014>
- SBCS, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2016) *Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*, 11a ed., NRS-RS/SC, 376 pp. Acesso em: 17 ago.2023. Disponível em: <https://www.sbc-s-nrs.org.br/publicacoes>
- Santos, H.G., Fidalgo, E.C.C., Coelho, M.R.C., Áglío, M.L.D., Santos, A.B. (2009) Os solos e a cultura do arroz, XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Fortaleza, CE, Brasil, 02 a 07 de agosto de 2009. Acesso em 05 set.2023. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/513386/1/Os-solos-e-a-cultura-do-arroz-2009.pdf>
- Scheunemann, R. (2005) *Regeneração de areia de fundição através de tratamento químico via processo fenton*, Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 85pp.
- Siddique, R.; Noumowe, A. (2008) Utilization of spent foundry sand in controlled low-strength materials and concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, **53**, 27-35. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.09.007>
- UE, União Europeia - Programa LIFE (2018) *Re-use of surplus foundry sand by composting*. Reporte LIFE13 ENV/FI/285, 25 de abril de 2018, LIFE – Foundry sand, Finland, 68pp. Acesso em 01 ago.2023. Disponível em: <https://life-foundrysand.com/dissemination-materials/final-report>