

ENSAIO DE RESPIROMETRIA PARA BALIZAR PROCESSO DE COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS URBANOS

Beatriz Cristina Migot¹, Sarah Mello Leite Moretti², Flaviane Caroline Pagoto³, Fabio Sousa Guedes Silva⁴, Heurilen Reis dos Santos⁴ Edna Ivani Bertoncini⁵

¹Autor, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Tecnologia dos Biocombustíveis, FATEC, Piracicaba-SP; beatriz_migot@hotmail.com.; ²Bolsista Fapesp Pequena Empresa – Empresa 5Ecos Soluções Sustentáveis, Piracicaba, SP.; ³Técnica em Química – Bolsista Fapesp Treinamento Técnico; ⁴Graduandos em Tecnologia em Biocombustíveis pela Fatec - Piracicaba-SP.; ⁵Orientadora: Pesquisadora da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Polo Regional Centro Sul, Piracicaba, SP; ebertoncini@apta.sp.gov.br.

RESUMO

Resíduos urbanos orgânicos são gerados em grandes volumes e transportados a aterros sanitários, representando alto custo de transporte e disposição e desperdício de nutrientes que poderiam ser utilizados em solos agrícolas. Na maioria das vezes, são necessários processos de tratamento e pós-tratamentos, como a compostagem, para tornar seu uso seguro e sustentável. Técnicas respirométricas são ferramentas que norteiam o processo de compostagem, pois avaliam a taxa de degradação dos materiais, inferindo sobre a labilidade e estabilidade das misturas compostáveis. Para balizar processo de compostagem, realizou-se um teste de respirometria, com os seguintes tratamentos, ou mistura de materiais: **T1**. Lodo de esgoto e poda de árvore; **T2**. Lodo de esgoto e gramas de jardins; **T3**. Resíduo de restaurante e podas de árvores e **T4**. Resíduo de restaurante e gramas de jardins. A partir de 40 dias de condução, observou-se maior evolução de C-CO₂ para misturas com poda de árvore. Após 120 dias de ensaio as taxas de decomposição foram de 23,2 e 25,7% para lodo de esgoto e resíduo de restaurante misturado à poda de árvore, respectivamente, e de 34,1 e 30,8% para os mesmos resíduos misturados a gramas. Maiores taxas de degradação foram obtidas para misturas com gramas de jardins, possivelmente devido a menor recalcitrância do material quando comparada a poda de árvore. O mesmo fato ocorreu com o resíduo de restaurante quando comparado ao lodo de esgoto.

Palavras-chave: Lodo de esgoto. Resíduos de restaurantes. Poda de árvore. Gramas. Compostagem.

RESPIROMETRY TEST TO GUIDE COMPOST PROCESS OF URBAN WASTES

ABSTRACT

Organic urban wastes are generated in large volumes and transported to landfills, representing high costs of transport and disposal, besides and nutrients wastage that could be used in agricultural soils. Often, treatment and post-treatments processes, such as composting, are needed to make its use safe and sustainable. Respiratory techniques are tools that guide the composting process, as well as, to evaluate the degradation rate organic materials, inferring on the lability and stability of organic composts. In order to control the composting process, a respirometry test was performed, with the following treatments, or material mixtures: **T1**. Sewage sludge + tree pruning; **T2**. Sewage sludge +garden grass; **T3**. Food wastes + pruning of trees, and **T4**. Food wastes + garden grass. After 40 days of decomposition process, it was observed a higher evolution of C-CO₂ for mixtures with pruning tree. After 120 days, the decomposition rates were 23.2 and 25.7% for sewage sludge and food wastes mixed with pruning tree, respectively, and 34.1 and 30.8% for the same mixed to garden grass. Higher rates of degradation were obtained for mixtures with garden grass, possibly due to lower recalcitrance of the material when compared to pruning tree. The same fact occurred with the restaurant residue when compared to the sewage sludge.

Keywords: Sewage sludge. Food Wastes. Pruning tree. Garden Grams. Compost process.

1 INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto apresenta sérios problemas de disposição devido ao elevado volume gerado nas estações de tratamento de esgoto doméstico e industrial. Apenas em Piracicaba, SP, a quantidade gerada chega a 68 t dia⁻¹, cuja destinação em aterros sanitários apresentam um alto custo econômico e ambiental (ANDRADE; MATTIAZZO, 2000). A maioria dos lodos de esgoto gerados em condições brasileiras é classificada como lodos classe B, impróprios para uso agrícola, pois apresentam quantidades de coliformes termotolerantes maiores que 10³ NMP / 100 g de sólidos e mais que 0,25 ovos de helmintos g⁻¹ de sólidos (BRASIL, 2006a). Devido essa impossibilidade de seu uso agrícola seguro e sustentável praticamente 100% do resíduo gerados tem sido destinado a aterros sanitários, onerando o custo do tratamento do esgoto que é repassado em última instância aos consumidores que pagam na taxa de água o mesmo valor para a taxa de esgoto. A procura por opções de pós-tratamentos e alternativas de destinação vem sendo cada vez mais recorrente, a fim de reduzir a carga orgânica e o potencial poluente do resíduo, além da necessidade de atender as normas estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010), que determina que resíduos com potencial de usos alternativos devam ser reaproveitados e não destinados a aterros sanitários que encontram-se saturados

Diniz (2014) cita que lodos são resíduos com baixa relação C/N e com material protéico de fácil degradação pelos micro-organismos, apresentam patógenos e metais pesados, o que atribui a este resíduo potencial de contaminação. Em vista disso, torna-se necessário realizar processos de pós-tratamento do lodo de esgoto a fim de que haja melhoria em suas características químicas, físico-químicas e microbiológicas permitindo que alternativas de destino sejam realizadas. O lodo de esgoto utilizado no experimento foi coletado em Estação de Tratamento de Esgoto da cidade de Piracicaba que possui tratamento aeróbio e geração de 700 t mês⁻¹. E, os materiais estruturantes, fontes de carbono para o processo, foram cedidos pela Prefeitura de Piracicaba que possui a geração de 180 t mês⁻¹ de poda de árvore triturada e 500 t mês⁻¹ de gramas de jardins, tais materiais são gerados em grande volume são destinados a aterros sob o risco de combustão.

Os resíduos de restaurantes, oriundos das sobras de preparo e de refeições de restaurantes industriais, também apresentam elevado custo de transporte e destinação em função do elevado teor de água. Tais resíduos enquadram-se de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), como resíduo urbano gerado por estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços (BRASIL, 2010) e pode ser reaproveitado como

adubo orgânico, agregando-o ao solo, desde que previamente tratado (GIRARDI et. al., 2016). Assim alternativas de destinação destes resíduos estão sendo buscadas por essas instituições a fim de atender as diretrizes prevista pela PNRS e atender normas de certificação ambiental. O resíduo de restaurante utilizado no estudo foi obtido de empresa que possui restaurante industrial com geração de 1,0 t de alimentos por dia e que são provenientes das sobras do preparo e das refeições.

Segundo Oliveira et. al. (2008), a compostagem é um processo de pós-tratamento de resíduos orgânicos, por meio da decomposição e estabilização biológica do material orgânico compostado sob condições favoráveis. No processo há a oxidação da mistura de materiais orgânicos fontes de nitrogênio e materiais orgânicos ricos em carbono (material estruturante) por meio de microrganismos decompositores, ocorrendo reações exotérmicas, liberação de dióxido de carbono e vapor de água. A partir deste processo é possível promover melhorias nas características dos materiais orgânicos, tornando possível o uso agrícola desses materiais devido a presença de nutrientes de plantas (MORETTI et al., 2015) e substâncias húmicas (PROVENZANO et al., 2001).

Técnicas respirométricas são consideradas métodos capazes de avaliar a taxa de degradação de resíduos orgânicos ou mistura de materiais orgânicos, inferindo sobre a labilidade e/ou estabilidade desses materiais, assim como sobre o tempo de duração do processo de decomposição desses materiais. Tais métodos são baseados em medições da produção de CO₂ resultante da atividade dos microrganismos que atuam na degradação do material orgânico incubado sob condições controladas por determinado período de tempo. O presente estudo utilizou o método respirométrico de Bartha modificado (CETESB, 1990), que se baseia na captura do dióxido de carbono (CO₂) liberado pela atividade microbiana durante processo de decomposição do material orgânico. O CO₂ capturado foi avaliado diariamente por meio das leituras de condutividade elétrica da solução de NaOH, medida de acordo com Rodela & Saboya (1999). Segundo os autores, a medida em que o CO₂ é absorvido na solução alcalina (NaOH), íons OH⁻ são consumidos e íons CO₃²⁻ com menor mobilidade são produzidos ocasionando na diminuição da condutividade elétrica da solução.

O objetivo deste estudo foi monitorar, sob condições controladas, o processo de degradação de misturas de materiais compostáveis, utilizando como fonte de nitrogênio o lodo de esgoto e resíduos de restaurantes industriais e como fonte de carbono podas de árvores trituradas de cidades e gramas, afim de obter a taxa de degradação dessas misturas, o tempo de duração da fase de decomposição até a estabilização do processo,

assim como a possibilidade de compostagem destes resíduos abundantemente gerados nas cidades brasileiras.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio de respirometria foi conduzido no Laboratório de Análise de Solos, Tecidos Vegetais e Resíduos Orgânicos da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), Polo Regional Centro-Sul, situada no município de Piracicaba-SP. Os materiais estudados foram previamente caracterizados quanto as características químicas e físico-químicas de acordo com Andrade e Abreu (2006), a fim de dimensionar as misturas de materiais compostáveis.

O teste de respirometria baseou-se no método de Bartha modificado (CETESB, 1990), que consiste na captura de CO₂ liberado pela atividade microbiana, por uma solução alcalina de NaOH de concentração conhecida (figura 1), cuja condutividade foi medida diariamente de acordo com Rodella e Saboya (1999). Por meio desse valor será possível verificar, ao longo do tempo, a cinética de biodegradação do carbono presente nas misturas de materiais.

O teste de foi conduzido por 120 dias com 4 tratamentos e 3 repetições, totalizando 12 respirômetros. A partir da caracterização dos materiais os materiais foram misturados para garantir relação C/N da mistura igual a 30:1, e teor de água de 50%. Foram avaliados os seguintes tratamentos: **T1**: Lodo de esgoto (100g) + poda de árvore (100g); **T2**: Lodo de esgoto (5g) e gramas de jardins (95g); **T3**: Resíduo de restaurante (140g) + Poda de árvore (60g) e **T4**: Resíduo de restaurante (11g) + Gramas de jardins (89g).

Considerando a densidade da poda de árvore igual a 0,21 g cm⁻³ e da grama de grama igual a 0,05 g cm⁻³, adicionaram-se 200g da mistura de materiais nos respirômetros dos tratamentos T1 e T3, e 100 g foram adicionadas aos respirômetros de T2 e T4. O teor de água de cada mistura de materiais foi ajustado a 50%, por meio da adição de água deionizada. Dentro dos respirometros foram adicionados frascos menores contendo solução de NaOH de concentração conhecida e, os frascos foram incubados em câmaras de BOD ± 28°C. Periodicamente, foi feita a troca dos frascos contendo a solução de NaOH, realizado o revolvimento da massa de material e monitorado a perda de água das misturas por meio da pesagem dos frascos. A determinação do CO₂ liberado foi avaliado diariamente por meio das leituras de condutividade elétrica da solução de NaOH, medida de acordo com Rodella & Saboya (1999) até a estabilização das leituras por 03 dias consecutivos, que ocorreu aos 120 dias do inicio do ensaio.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os teores de C, N, água e relação C/N das matérias primas utilizadas para o ensaio de respirometria estão expressos na Tabela 1. Observa-se que as gramas de jardins que são usadas normalmente como fonte de carbono, apresentaram, também, teor expressivo de N, provavelmente pela coleta do material ter sido realizada na estação seca do ano, em que o teor de água dos gramados é baixo, concentrando-se os teores de nutrientes. Assim, para perfazer a relação C:N de 30:1 necessária ao processo de compostagem, foi necessário utilizar um maior volume de grama. O resíduo de restaurante por sua vez, apresentou teor de água elevado (71,8%), o que pode ser relacionado com o preparo e o descarte dos alimentos nos restaurantes.

Tabela1: Caracterização das matérias-primas.

	Teor de água	C	N	C/N
	-----%-----			
Resíduo de Restaurante	71,8	51,2	2,9	17,7
Lodo de esgoto	84,5	55,4	5,3	10,5
Poda de árvore	24,1	49,0	0,8	61,3
Gramas de jardins	15,9	59,7	1,8	33,2

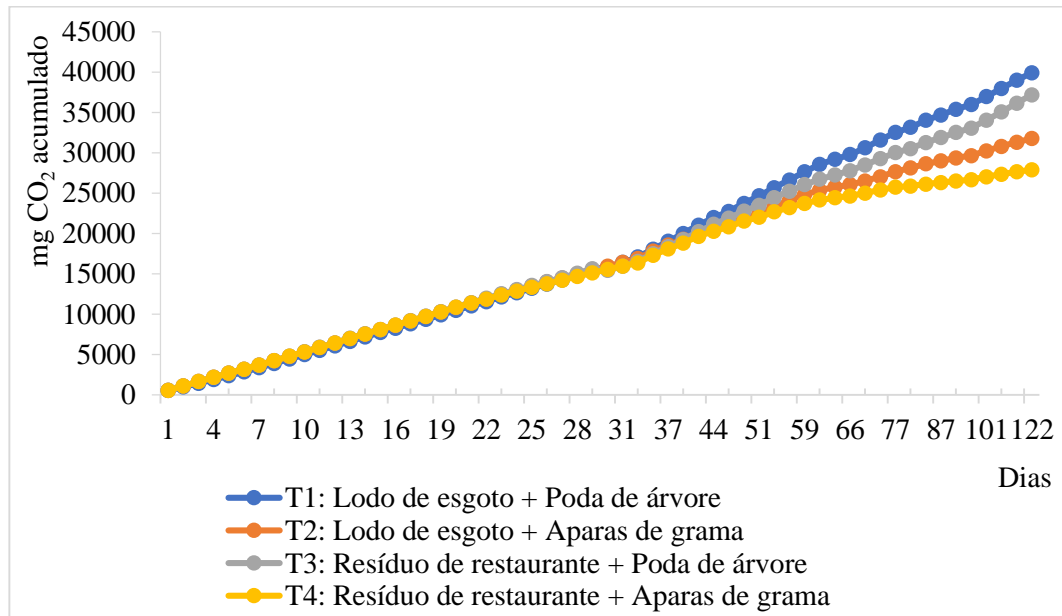
Na Figura 1, observa-se elevada evolução de CO₂ acumulado para todos os tratamentos, indicando progresso do processo de degradação das misturas de materiais estudados a partir de uma relação C/N igual a 30:1. Comumente os microrganismos utilizam uma parte de N para formação de proteína microbiana e 30 partes de C como fonte de energia, o que sugere que esta razão de C/N 30:1 utilizada no ensaio seja a mais desejável (BRIETZKE, 2016).

Observou-se que não houve diferença entre os tratamentos estudados até os 40 dias de condução do teste, quanto a quantidade de C-CO₂ acumulado, que foi igual a 21.045,7; 20.085; 20.229,4 e 19.652,6 mg de CO₂ para os tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente, indicando possível decomposição inicial de compostos orgânicos de fácil degradação no início do processo e que apresentam semelhança quanto a biodegradabilidade.

A partir dos 40 dias (Figura 1), houve maior liberação de CO₂ para os tratamentos T1 e T3 conduzidos com poda de árvore, tanto para o lodo de esgoto quanto para o resíduo de restaurante. Tal fato é devido a maior massa de material utilizada nos tratamentos com poda de árvore, e maior quantidade de carbono passível de ser degradado. A massa de grama utilizada foi bem menor, e conseqüentemente menor a quantidade de carbono potencialmente mineralizável. Este fato ocorreu devido a grama de jardins apresentarem para esta estação do ano maior teor de nitrogênio que aquelas usualmente coletadas em

épocas mais chuvosas, necessitando, portanto de um maior volume para ser misturado aos resíduos ricos em N. Além disso a densidade da grama é bem menor que a densidade da poda de árvore, ocupando maior espaço nos respirômetros.

Figura 1: evolução de C-CO₂ liberado ao longo de 120 dias de condução do ensaio de biodegradação.



Contudo, apesar da maior evolução de C-CO₂ para os tratamentos com mistura de poda de árvore, notou-se maior taxa de degradação para os tratamentos conduzidos com gramas de jardins (T2 e T4), (Tabela 2), cujo material orgânico é facilmente degradado. Vale, 2016 verificou altos teores de celulose e lignina presente na poda de árvore. Esses polímeros orgânicos são responsáveis por proteger as células contra ataques de microrganismos (SALIBA et. al., 2001), resultando na menor degradação dessas misturas devido a maior recalcitrância deste material estruturante (OLIVEIRA et al. 2008).

Observa-se pequeno efeito dos materiais fontes de nitrogênio (lodo e resíduo de restaurante) sobre a evolução de CO₂ obtidos neste estudo. Uma vez que quantidades semelhantes de C-CO₂ evoluído foram obtidos para o tratamento com lodo+poda de árvore (10,89 g C-CO₂) e para o tratamento com resíduo de restaurante+poda de árvore (10,14 g C-CO₂). O mesmo efeito foi observado entre os tratamentos com uso de gramas de jardins (Tabela 2). Isto é, quando se utilizou o mesmo material estruturante.

Para a taxa de degradação, maiores valores foram obtidos para o tratamento com lodo de esgoto+gramas de jardins (T2), igual a 34,11% (Tabela 2), seguido pelo tratamento com mistura de resíduo de restaurante+gramas de jardins (30,81%), indicando menor recalcitrância a degradação do material orgânico presente nas gramas de jardins quando confrontado a poda de árvore. Assim, por meio do teste de respirometria verifica-

se que o material estruturante seria o principal fator a afetar a duração da fase de decomposição ao longo do processo de compostagem conduzido no campo.

Tabela 2: Quantidades de C-total adicionado às misturas de materiais adicionadas aos respirômetros, valores de C-evoluído e taxa de degradação ao longo da condução do teste.

	C-Total	C-Evoluído	Taxa de Degradação
	-----(g)-----	-----	-----(%)----
T1: Lodo de esgoto + Poda de árvore	46,9	10,9	23,2
T2: Lodo de esgoto + Gramas de jardins	25,4	8,7	34,1
T3: Resíduo de restaurante + Poda de árvore	39,5	10,1	25,7
T4: Resíduo de restaurante + Gramas de jardins	24,7	7,6	30,8

Entretanto, outros aspectos devem ser considerados a fim de avaliar a qualidade do composto orgânico gerado ao final do processo, por exemplo, as características químicas, físico-químicas e microbiológicas que devem atender os parâmetros estabelecidos pela legislação agrícola sobre registro e uso de compostos orgânicos (Brasil, 2006b).

4 CONCLUSÕES

Após a finalização e estabilização do teste estudado, foi possível verificar que não há diferenças quanto a biodegradabilidade das misturas no início do processo de decomposição (40 dias) no qual ocorre a decomposição dos materiais mais facilmente degradados de ambas as misturas. Contudo, após esse período, tanto o lodo de esgoto quanto o resíduo de restaurante misturado as gramas de jardins apresentaram melhor degradabilidade quando comparado as misturas feitas com poda de árvore, indicando maior recalcitrância da poda de árvore como material estruturante. Assim, verifica-se a importância do teste na avaliação da labilidade das misturas de materiais orgânicos compostáveis, o que pode interferir no tempo de duração do processo conduzido no campo, e na escolha de materiais estruturantes para compostagem de cada resíduo, que possam reduzir o tempo de compostagem do material seja em pilhas no campo, seja em máquinas aceleradoras de decomposição. Ressalta-se que além da taxa de degradação dos resíduos outros parâmetros físico-químicos, químicos e microbiológicos dos compostos produzidos devem ser avaliados para enquadrar-se aos limites estabelecidos pela legislação agrícola vigente sobre uso e registro de fertilizantes orgânicos.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, C. A. e MATTIAZZO, M. E. **Nitratos e metais pesados no solo e nas árvores após aplicação de biossólido:** lodo de esgoto em plantações florestais de *Eucalyptus grandis*. Scientia Forestalis. N.58. 200. Disponível em: > <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr58/cap05.pdf>< Acesso em: 03/08/2018
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução N° 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 de agosto de 2006a. Seção 1, p. 141-146
- BRASIL. Lei Federal n° 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n° 9.605, de 12 de fevereiro de 1998;** e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Acesso em: 02/09/2018
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Instrução Normativa 27, de 05 de junho de 2006. Dispõe sobre fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, para serem produzidos, importados ou comercializados, deverão atender aos limites estabelecidos nos Anexos I, II, III, IV e V desta Instrução Normativa no que se refere as concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 09 de junho de 2006b. Seção 1, p. 15.
- BRIETZKE, D. T. **Avaliação do processo de compostagem considerando a relação carbono/nitrogênio.** Centro universitário UNIVATES curso de engenharia ambiental, 2016. Disponível em: ><https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1398/1/2016DeboraTairiniBrietzke.pdf>< Acesso em: 20/09/2018
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB. **Norma P4.230 – Critérios para aplicação de biossólidos em áreas agrícolas:** critérios para projeto e operação. São Paulo: Cetesb; (Manual Técnico), 1999.
- DINIZ, I. C. C. **Taxa de degradação do material orgânico de lodo de esgoto sanitário no solo.** Universidade Federal de Viçosa, 2014. Disponível em: ><http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/7353/texto%20completo.pdf?sequence=1>< Acesso em: 20/09/2018
- GIRARDI, T. et. al. **Compostagem de resíduos sólidos provenientes de restaurantes e serrarias.** 10º Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. 2016. Disponível em >http://www.abes-rs.uni5.net/centraldeeventos/_arqTrabalhos/trab_20160907011712000000220.pdf< Acesso em: 03/09/2018
- MIGOT, B. C. et. al. **Aceleração da fase de decomposição de processo de compostagem e lodos de esgoto e agroindustriais visando o uso dos compostos orgânicos na agricultura.** 12º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica. Campinas, São Paulo, 2018.
- OLIVEIRA, E. C. A. et.al. **Compostagem.** Universidade de São Paulo (USP): Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. (2008). Disponível em: > https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Compostagem_000fhc8nfqz02wyiv80efhb2adn37yaw.pdf< Acesso em: 21/09/2018
- RODELLA, A. A. e SABOYA, L. A. **Calibration for conductimetric determination of carbon dioxide.** Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Departamento de Química, P.O. Box 9, 13418-900, Piracicaba, SP, Brazil. 1999.
- SALIBA, E. O. S. et. al. **Ligninas – métodos de obtenção e caracterização química.** Cienc. Rural vol.31 no.5 Santa Maria. Disponível em: >http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782001000500031< Acesso em: 13/09/2018
- VALE, V. H. D. **Diagnóstico dos resíduos de podas do município de Natal/RN.** Universidade Federal do Rio Grande do Norte Centro de Tecnologia Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental. 2016. Disponível em: >http://monografias.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/123456789/3367/1/DIAGN%C3%93STICO%20DOS%20RES%20RES%20RES%20DE%20PODAS_TCC.pdf< Acesso em: 13/09/2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica PIBIC, à FAPESP pelo auxílio concedido ao Projeto PIPE Processo 2017/00944-0, aos pesquisadores, funcionários e a equipe de trabalho do Grupo GERA - Grupo de Estudo em Resíduos Agrícolas da APTA Polo Centro Sul.