

O USO DA FIBRA DE MADEIRA NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

THE USE OF WOOD FIBER IN THE COMPOSTING PROCESS

Andressa Rodrigues RANKEL¹

Marcos Vinícius Martins BASSACO²

¹Engenharia Florestal, discente, Faculdades FatiFajar, Jaguariaíva, Paraná, (drehrankel@outlook.com), ²Docente, Faculdades FatiFajar, Jaguariaíva, Paraná, (marcos.bassaco@hotmail.com)

RESUMO

As atividades industriais produzem grande quantidade de resíduos e há várias formas de tratamento onde se busca reduzir, imobilizar ou eliminar os componentes perigosos minimizando os impactos ambientais. Este trabalho teve como objetivo estudar a viabilidade de introdução da fibra de madeira no processo de compostagem. Os experimentos foram realizados nas dependências de uma indústria de comercialização de painéis de aglomerados de madeira, MDF (*Medium Density Fiberboard*) no município de Jaguariaíva-PR, tendo a fibra como origem os ciclones de partida das linhas de MDF, tal material era descartado antes do processo de injeção de resina e sem adição de produtos químicos. Por um período de 120 dias foram avaliados 4 tratamentos distintos com 2 repetições, sendo o tratamento com 0% de fibra a testemunha e as agregações de 12,5%, 25% e 50% porcentagem referente ao descarte diário de fibra “limpa”. A fibra mostrou-se eficiente no combate aos coliformes termotolerantes, onde entre a testemunha e o tratamento com 50% de fibra apresentaram diferenças de 91% aos três meses e 29% aos quatro meses. Já para o parâmetro de ovos viáveis de helmintos, as leiras de número 01 (0%), 07 (12,5%) e 04 (50%) obtiveram o atendimento do valor legal. Os tratamentos que obtiveram o incremento de fibra, na média se manterão nos valores legais para umidade. O aumento da matéria orgânica com a adição da fibra se mostrou eficiente na elevação da temperatura e o aumento da temperatura com a adição crescente de fibra proporcionou maior grau de decomposição em menor tempo. Um ganho de 25% no tempo de processamento comparado ao processo normal. O tratamento de 50%, com 12 toneladas de fibra foi escolhido como o melhor tratamento desse experimento, devido principalmente a obtenção de valores abaixo do limite exigido pela legislação em um período de três meses, concluindo que é viável o uso da fibra de madeira no processo de compostagem.

Palavras-chave: Compostagem, Fibra, Resíduos Industriais.

ABSTRACT

Industrial activities produce large amounts of waste and there are various forms of treatment where it is possible to reduce, immobilize or eliminate hazardous components, minimizing environmental impacts. This work aimed to study the feasibility of introducing wood fiber in the composting process. The experiments were carried out in the premises of a chipboard industry, MDF (Medium Density Fiberboard) in the city of Jaguariaíva-PR, having a fiber as the starting cyclone of MDF lines, this material was discarded before resin injection process and no addition of chemicals. For a period of 120 days, 4 different treatments with 2 repetitions were applied, being treated with 0% of tested fiber and aggregated of 12.5%, 25% and 50% of percentage referring to the daily disposal of "clean" fiber. One fiber was effective in combating coliform thermotolerants, where between 50% fiber and 50% fiber showed differences of 91% in the three months and 29% in the four months. For the parameter of viable helminth eggs, such as lines number 01 (0%), 07 (12.5%) and 04 (50%), obtain or receive care of legal value. Controls that obtain or increase fiber on average remain at the legal values for absorption. The increase of organic matter with the addition of fiber was efficient in raising the temperature and the increase in temperature with the increasing addition of fiber provided greater decomposition in the shortest time. A 25% gain in processing time after the normal process. The 50% treatment with 12 tons of fiber was chosen as the best treatment of this experiment, mainly due to use values below the limit required by the legislation over a period of three months, concluding that it is feasible to use wood fiber in composting process.

Keywords: Composting, Fiber, Industrial Waste.

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos gerados pelas indústrias e agricultura geram preocupações e interesses relacionados as questões ambientais, uma vez que se esses resíduos não sejam devidamente tratados podem provocar danos ambientais (MALHEIROS; PAULA JUNIOR, 2019). No Brasil as indústrias geram uma grande quantidade de resíduos sólidos através de sua produção (FERNANDES; SILVA, 2019). Em um processo onde se insere matéria-prima e insumo, como resultado de não possuírem uma eficiência de operação de 100%, eles geram resíduos. Esses bens são considerados indesejáveis, e assim ilustraram as perdas do processo e suas quantidades refletem nos custos das operações, uma alternativa viável e eficiente é o aproveitamento desses resíduos através de um processo chamado compostagem, obtendo como produto um material que pode ser aplicado no solo como fonte de nutrientes (SILVA, 2007).

De acordo com Kiehl (2004), a compostagem define-se como sendo o processo de decomposição microbiana de uma matéria orgânica heterogênea no estado sólido e úmido, esse processo ocorre durante três fases sendo a inicial de fitotoxicidade, seguida da bioestabilização, para a finalização na fase de humificação, onde o material atinge seu auge das propriedades desejáveis, sem a presença de substâncias danosas ao solo e com finalidade obter um material estável, de qualidade em um período curto. O que não ocorre na natureza onde os prazos são mais longos, pois o processo irá depender das condições ambientais e dos resíduos utilizados no processo. É necessário a presença de microrganismos, aeração para suprimento de oxigênio e umidade para se iniciar e manter o processo de decomposição (OLIVEIRA; DANTAS, 1995). As melhores condições devem ser buscadas para se obter melhores rendimentos, qualidade e minimização do tempo de retenção das leiras (FOELKEL, 2014).

A compostagem é apontada como um processo satisfatório no panorama tecnológico para o tratamento de resíduos. Possibilitando o aproveitamento dos resíduos gerados, visto que nutrientes retornarão ao solo na forma mineral e orgânica, favorecendo melhorias químicas, físicas e biológicas ao solo (OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008). O composto melhora a qualidade do solo, reduz a contaminação e poluição ambiental, contribui na eficiência de fertilizantes químicos, recicla nutrientes e elimina agentes patogênicos dos resíduos (OLIVEIRA; AQUINO; CASTRO NETO, 2005). O uso de compostos orgânicos cresce pela razão que hoje a sociedade busca alternativas sustentáveis de forma exponencial. Além disso, a conversão dos resíduos industriais como os lodos e cinzas em compostos orgânicos permite evitar ou pelo menos reduzir os resíduos enviados para aterros (FOELKEL, 2014) e incineradores (GODOY, 2019).

No Brasil, culturas de decréscimo rápido como *Eucalyptus* e *Pinus*, geram milhares de empregos e uma contribuição significativa no PIB (Produto Interno Bruto), além de reduzirem a pressão sobre as florestas nativas favorecendo sua preservação. No entanto esses povoamentos necessitam de quantidades significativas de nutrientes e água, causando preocupações com a sustentabilidade dessas operações. Isso torna a utilização de resíduos atrativa em termos de recarga de nutrientes para o sistema (ANDRADE et al., 2003). Segundo Santos (2019), resíduos que não são

destinados de modo imediato e são simplesmente estocados, com o passar dos anos podem se tornar um passível ambiental, pois se torna difícil saber em que estágio de decomposição o material se encontra. Diversos estudos trazem as vantagens da utilização desses resíduos para a formulação de compostos para aplicações em solos. Mesmo em baixas quantidades, ajudam em fatores como teor de matéria orgânica, nutrientes e podem gerar ganhos em produtividade e/ou sustentabilidade. Este trabalho teve como objetivo avaliar o uso da fibra de madeira no processo de compostagem, com vistas à redução do tempo de processamento devido ao aumento da matéria orgânica e a melhoria na qualidade do composto final.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

Os experimentos foram realizados nas dependências de uma indústria do ramo florestal de comercialização de painéis de aglomerados de madeira, MDF (*Medium Density Fiberboard*) no município de Jaguariaíva-PR. A unidade possuía uma área de 18.400 m² para recepção, armazenagem temporária e processamento (tratamento) de composto.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DA OPERAÇÃO ESTUDADA

Em 2007/2008 a indústria contava com apenas uma linha de produção de MDF, que gerava uma quantidade de 14 toneladas de lodo, 7 toneladas de cinza e uma estimativa de 1 tonelada de matéria orgânica por dia (incluídos também resíduos de madeira). Com a instalação de uma segunda linha de MDF em 2013, o volume dos resíduos gerados aumentou significativamente, sem que a área para compostagem fosse ampliada na mesma proporção. No momento da coleta de dados as gerações de resíduos eram de 30 toneladas de fibra, 32 toneladas de lodo, 10 toneladas de cinza e 0,2 tonelada de matéria orgânica (resíduo de refeitório) por dia.

Sem essa adequação, o processo de compostagem viu-se totalmente colapsado devido ao acúmulo de resíduos (volume de geração maior do que a capacidade de tratamento conseguia absorver) e ao desbalanço/deficiência de matéria orgânica no processo. Ambos os fatores acabaram por e à, impactar na qualidade do material gerado e acumulando material além de suas capacidades de tratamento.

A fibra utilizada neste trabalho teve origem nos ciclones de partida das linhas de MDF, tratando-se de um material descartado antes do processo de injeção de resina e sem adição de produtos químicos (por conta disso, considerada como “limpa”). Os levantamentos realizados estimaram uma geração de 24 t/dia de um material com grande potencial de uso.

Os demais componentes se mantiveram os mesmos, alterando-se, apenas o volume de geração. O lodo é proveniente da estação de tratamento de efluentes (ETE), composto pelo lodo primário da etapa físico-química do processo de tratamento e o lodo secundário, gerado na etapa biológica (lodo ativado). As cinzas eram geradas nas centrais térmicas, que utilizavam biomassa (madeira picada, cascas de madeira, serragem e fibra) como combustível. O resíduo orgânico era composto por resíduos do refeitório (restos de alimentos).

2.3 PROCESSO DE CONSTRUÇÃO/ELABORAÇÃO DO EXPERIMENTO

Seguindo os conceitos de Kiehl (2004), foram avaliados quatro tratamentos distintos com duas repetições por um período de 120 dias, onde:

- Tratamento com 0% de fibra (testemunha), mistura a qual representava a condição atual do processo de compostagem da indústria;
- Tratamento com agregação de 12,5% de fibra;
- Tratamento com agregação de 25% de fibra e
- Tratamento com agregação de 50% de fibra.

O Quadro 1 apresenta as quantidades de resíduos utilizada nos tratamentos. A fibra foi apenas agregada nas amostras e as porcentagens utilizadas tiveram como referência a quantidade de descarte diário de fibra “limpa” (24 t/dia), enquanto os

resíduos lodo, cinza e resíduo orgânico, continuaram os mesmos volumes em todas as amostras, conforme determinava a licença de operação da indústria.

QUADRO 1 – Quantidade de resíduos para formação das leiras (t).

RESÍDUO	0%	12,5%	25%	50%
Orgânico	0,2	0,2	0,2	0,2
Lodo	14	14	14	14
Cinza	7	7	7	7
Fibra	0	3	6	12

Para a realização do processo de mistura dos resíduos, foi utilizada a relação do peso da concha vazia/cheia da retroescavadeira Caterpillar 3C Plus, de uso fixo na compostagem. Vazia, e pesou-se a retroescavadeira carregada com os resíduos lodo, cinza e fibra. O resultado obtido foi que uma unidade de concha carregada com lodo possui peso de 1 tonelada, com cinza 1,3 toneladas e com fibra 0,4 tonelada. Para o resíduo orgânico devido ao baixo volume gerado, foi utilizado 2 lixeiras de 240 litros para a dosagem do material, o que resultou em 0,1 tonelada por lixeira.

A montagem do mix aconteceu no piso de mistura através de pilhas separadas por resíduo, garantindo uma maior exatidão na proporção dos resíduos a serem misturados. A mistura foi alocada em um caminhão caçamba Mercedes L1020 e transportado até o local definido para o experimento. O sistema utilizado foi o mesmo que a empresa utiliza (windrow), onde foram dispostas leiras de secção triangular colocadas em área aberta, nas dimensões aproximadas de 13 x 2 x 1 m a 15 x 3 x 1,3 m (comprimento x largura x altura). A aeração ocorreu seguindo os conceitos de Oliveira e Dantas (1995), onde o primeiro revolvimento foi efetuado de duas a três semanas após a formação da leira, o segundo reviramento em torno da quinta semana e o último, por volta da décima. O equipamento utilizado foi a retroescavadeira Caterpillar 3C Plus, que fez o tombamento e revolvimento do material.

2.4 COLETA DE DADOS

Foram considerados nesse estudo a avaliação dos seguintes parâmetros: teor de umidade, pH, temperatura e relação C/N (Carbono/Nitrogênio) por serem esses conforme Art. 8º da Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CEMA, 2013) nº 90, de 03/12/2013, os parâmetros mínimos de controle do processo de compostagem e mais essenciais para se iniciar/manter o processo de decomposição (OLIVEIRA; DANTAS, 1995). Também foram analisados os parâmetros de contaminantes exigidos no Anexo I da (CEMA, 2013) nº 90, de 03/12/2013, estes considerados restritivos para a destinação de condicionadores de solo.

O monitoramento de temperatura ocorreu de forma diária no local do experimento utilizando o termômetro Salvterm 1200K. Para o monitoramento de umidade e pH foram coletadas amostras de aproximadamente 450 g e encaminhadas ao laboratório da indústria uma vez na semana durante todo o experimento. O método utilizado para a obtenção dos valores de umidade, foi o gravimétrico (secagem em estufa com circulação forçada) e para o pH, o método potenciométrico (leitura em pHmetro).

Foram coletadas amostras de lodo, cinza e fibra e encaminhadas para a Fundação ABC, laboratório que realizou as análises de caracterização dos materiais antes da mistura para o processo de compostagem. Com exceção do resíduo orgânico que não foi analisado, devido sua pequena quantidade em relação à mistura e à inhomogeneidade do material gerado. Após uma semana da montagem das leiras, foram coletadas amostras do material em decomposição e encaminhadas para a Fundação ABC, laboratório que realizou as análises de caracterização das leiras para posterior comparativo com as análises finais. No terceiro mês de decomposição foram coletadas amostras das leiras e enviadas para os laboratórios Fundação ABC e LimnoBras, que realizaram as análises dos tratamentos 0, 12,5, 25 e 50%, para a finalização do processo, comprovação de compostamento das oito leiras em estudo e análise comparativa dos parâmetros legais.

Todos os monitoramentos e coletas de amostras para as análises foram realizados no turno da manhã, em três pontos distintos, a uma profundidade de 40 a 60 cm, de onde se obteve a média dos resultados por leira e as médias por tratamento.

Todos os resultados das análises foram comparados à Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CEMA, 2013) nº 90, de 03/12/2013, à Instrução Normativa nº 25, de 23/07/2009 da Secretária de Defesa Agropecuária (SDA, 2009) e Instrução Normativa nº 27, de 05/06/2006 da (SDA, 2006).

Para a melhor visualização da eficiência do experimento, foi realizada a análise de regressão dos dados obtidos a partir da média de temperatura dos tratamentos, medidas no vigésimo dia de compostagem. A escolha desse marco se deu por ser esse o último dia da fase fitotóxica, o último dia para uma alta positiva de temperatura, conforme Kiehl (2004).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 TEMPERATURA

O Gráfico 1 apresenta os alcances máximos de temperatura para todas as misturas e o seu respectivo dia em que ocorreu. Com o objetivo obter os valores da fase termófila (55°C), durante o processo se obteve nos tratamentos com 25% e 50% os valores desejados, acima de 55°C, temperaturas consideradas ideais para o processo de compostagem, isso ocorrendo no terceiro dia do início da compostagem.

A elevação da temperatura é um sinal de que a decomposição biológica das leiras se iniciou, aumentando a atividade com o tempo e conseqüentemente a geração de calor. A fase inicial mesófila (40°C) é seguida por uma mais quente chamada de termófila (55°C), que se mantém constante por um tempo (KIEHL, 2004). Quanto mais rápido a temperatura chegar nos valores entre 40 a 60°C, mais em equilíbrio o sistema estará: a compostagem tende a ser bem-sucedida, já que a temperatura é um indicador do equilíbrio e eficiência do processo (FERNANDES; SILVA, 2019). A demora da temperatura para se elevar, significa a atividade microbiológica se mantém reduzida, ou seja, alguma condição (pH, umidade, aeração, relação de C/N) pode não estar favorável no início da compostagem (LEITE, 2015). O Gráfico 2 ilustra essa situação, ocorrida nos tratamentos com 0% e 12,5%.

GRÁFICO 1 – Temperaturas máximas dos tratamentos com diferentes proporções de fibras.

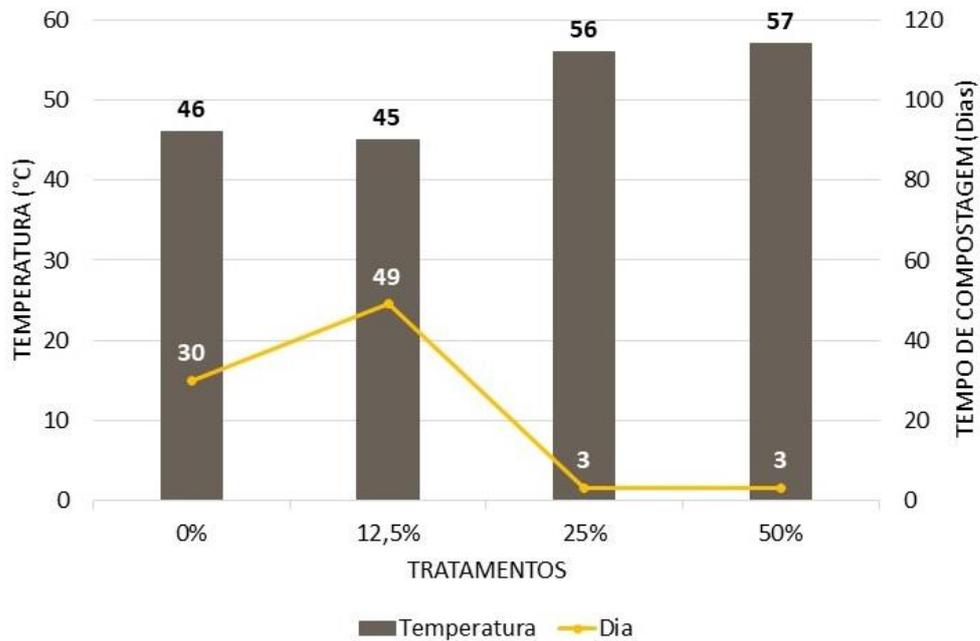
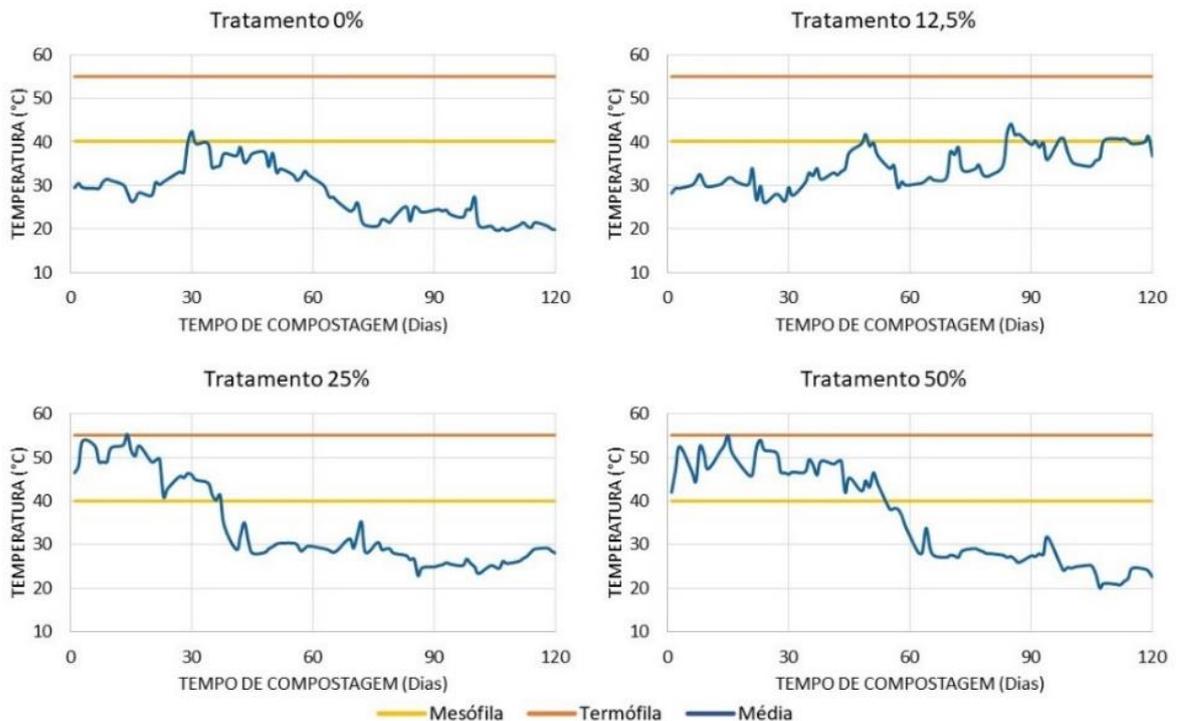


GRÁFICO 2 – Temperaturas médias dos tratamentos com 0%, 12,5%, 25% e 50% ao longo dos 120 dias de compostagem.



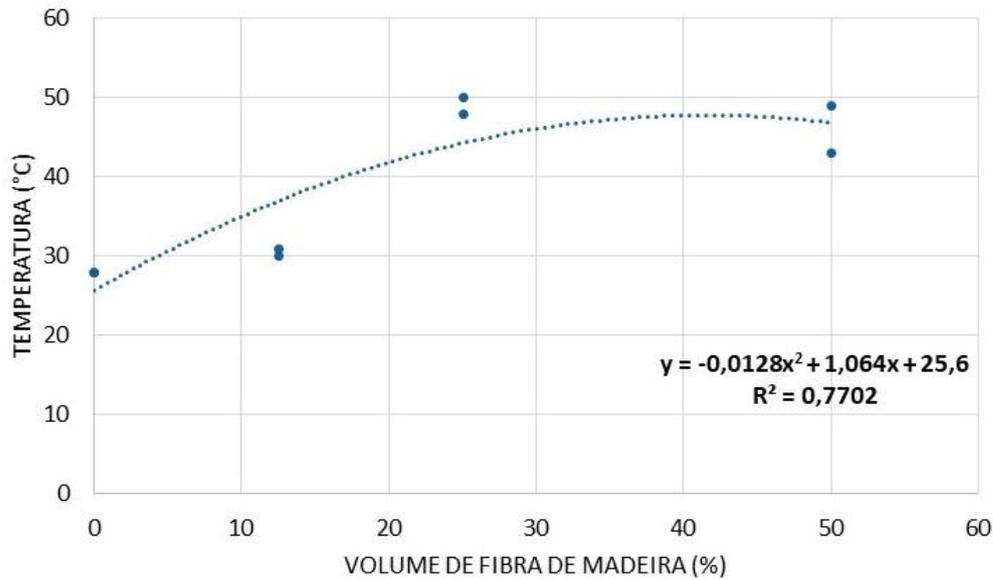
Essa afirmação se confirma pelo comportamento do tratamento sem adição de fibra (0%): apesar de ter conseguido uma temperatura máxima de 46°C com 30 dias, não atingiu as temperaturas desejadas e ainda aos 37 dias de tratamento, as leiras 01 e 02 apresentavam grande quantidade larvas de moscas visualmente detectáveis.

Kiehl (2004) afirma que, se não faltarem as condições favoráveis para a decomposição da leira, a temperatura vai baixar e a leira vai entrar novamente na fase mesófila se igualando ao ambiente. Esse resultado é visto nos tratamentos com 25% e 50%, enquanto os tratamentos com 0% e 12,5% não conseguiram atingir um aumento de temperatura significativo para que a fase termófila ocorresse.

A relação de C/N no início da compostagem pode ser uma das causas para a ineficiência da resposta ao aumento da temperatura. De acordo com Kiehl (2004), a faixa entre 25/1 e 35/1 é considerada ótima para a decomposição. Assim, os valores iniciais das leiras 02 (0%), 08 (12,5%) e 05 (25%) são considerados abaixo do desejado, das leiras 01 (0%) e 07 (12,5%) os valores desejados e as leiras 06 (25%), 03 (50%) e 04 (50%) acima do desejado. Se concluiu dessa forma que a relação de C/N aumenta conforme a adição de fibra, ou seja, e o aumento da relação C/N contribui no aumento da temperatura.

O Gráfico 3 apresenta os dados coletados no vigésimo dia de compostagem, que apontam diferença significativa no aumento de temperatura com o acréscimo do volume de fibra de madeira no processo de compostagem, com F Calculado (8,378409795) > F Tabelado (0,025318413). Já a curva de regressão apresenta na primeira derivada da equação o ponto máximo da curva de 41,56%, ou seja, a partir de aproximadamente 42% de fibra (referente ao descarte diário de fibra "limpa"), a temperatura começa a diminuir. Não se tornando atrativo ao processo o incremento de valores acima de 10 toneladas de fibra, visto que curva de temperatura tende a um decréscimo com o aumento do volume.

GRÁFICO 3 – Análise de regressão entre o volume de fibra e a temperatura.



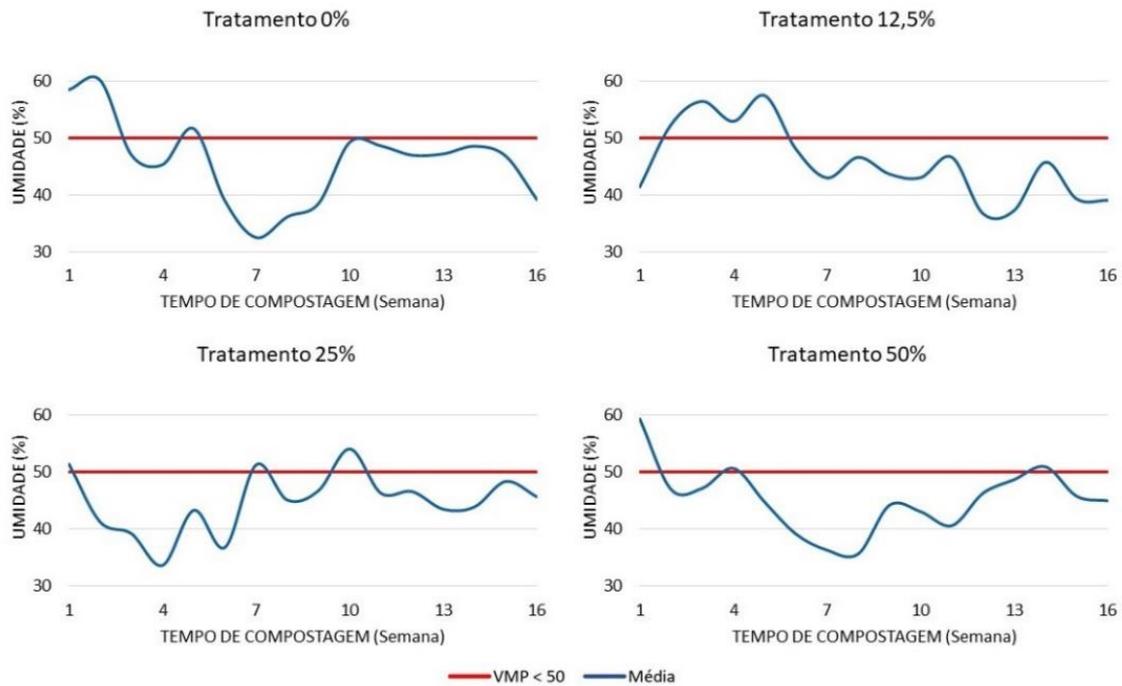
*Os dados da amostragem de temperatura foram coletados no vigésimo dia de compostagem de cada tratamento.

3.2 UMIDADE

A presença de água é importante para a ação dos organismos que não vivem sem água, por isso a umidade é um fator que deve ser acompanhado durante todo processo de compostagem (LEITE, 2015). Se a umidade do composto estiver abaixo de 40%, a decomposição será mais lenta, mas ainda aeróbica. Porém, se a umidade estiver acima de 60%, o material estará encharcado/molhado em demasia, nesse caso a decomposição será em parte anaeróbica pela falta de oxigênio (KIEHL, 2004).

Os tratamentos que geralmente no início tinham umidade alta perdem umidade com o passar do tempo conforme Gráfico 4. Quanto maior o volume de fibra acrescentado no processo menor é a taxa de oscilação, e mais uniforme a curva se torna.

GRÁFICO 4 – Umidade média dos tratamentos com 0%, 12,5%, 25% e 50% ao longo dos quatro meses de tratamento.

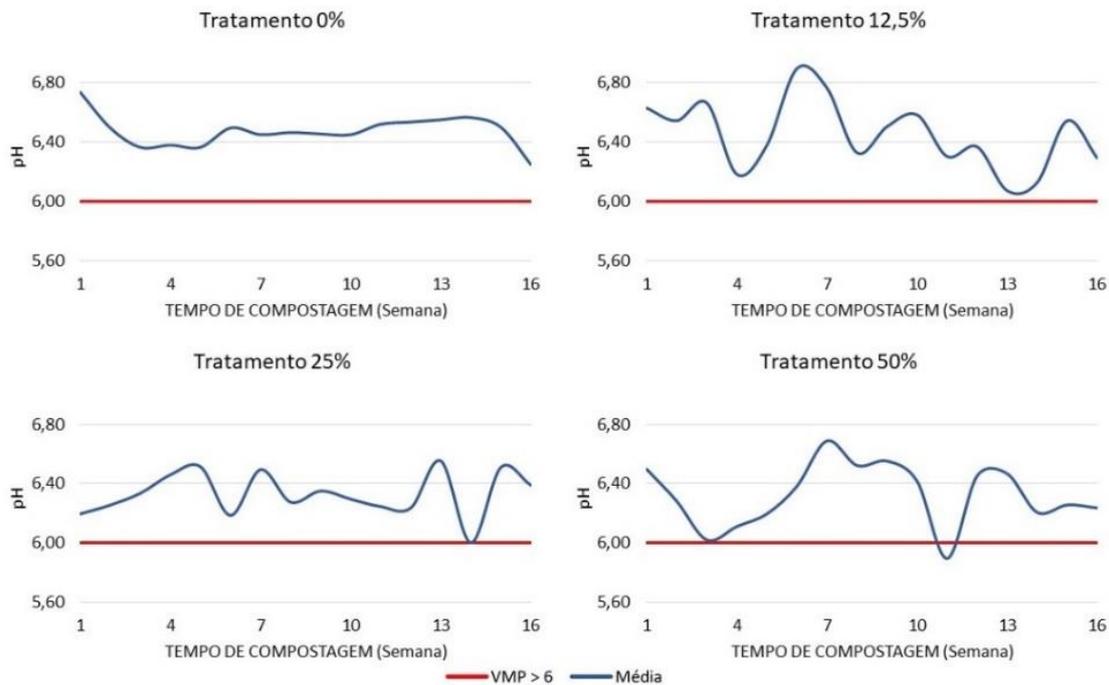


O valor máximo permitido (VMP) de umidade final na legislação é de 50%, e nos tratamentos foi obtido os valores médios de 51,21% (0%), 48,63% (12,5%), 47,56% (25%) e 49,68% (50%). Todos os tratamentos que tiveram o incremento de fibra de madeira, na média se manterão nos valores legais conforme exigido pela Instrução Normativa nº 25, de 23/07/2009 da Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA, 2009).

3.3 PH

Pelos dados apresentados no Gráfico 5, a atividade microbiana é maior nos tratamentos com adição de fibra de madeira, quando comparada com a testemunha com 0% de fibra.

GRÁFICO 5 – pH médio dos tratamentos com 0%, 12,5%, 25% e 50% ao longo dos quatro meses de tratamento.



Segundo Kiehl (2004), a matéria orgânica é geralmente ácida (índice pH baixo), e no processo de compostagem o pH se eleva passando pelo pH 7,0 (neutro) e alcançando pH superior a 8,0 (básico). A faixa de maior atividade microbiana se situa entre 6,0 a 9,0 de pH, outros valores podem reduzir a atividade ou até mesmo inibi-la (LEITE, 2015). Materiais com pH próximo ao 7,0 como exemplo o lodo, se desenvolvem bem mesmo em misturas com materiais fibrosos como os resíduos de podas de árvores e cascas de processamento (FERNANDES; SILVA, 2019). Apesar da fibra de madeira apresentar um pH de 3,6 a mistura realizada de todos os tratamentos se mostrou eficiente quando analisados o pH das leiras no início da decomposição (todos apresentaram valores maiores que 6,0).

O pH é uma característica que oscila durante todo o processo, inclusive entre leiras de mesmo tratamento. Tal fato é explicado tanto pela formação de ácidos orgânicos durante a decomposição, que tomam o meio mais ácido, como também a reação dos ácidos com bases liberadas pela matéria orgânica que formam compostos alcalinos (KIEHL, 2004), elevando o pH das leiras.

Todos os tratamentos atenderam os requisitos legais de estar com o pH acima de 6,0 conforme exigido pela Instrução Normativa nº 25, de 23/07/2009 da Secretária de Defesa Agropecuária (SDA, 2009).

3.4 QUALIDADE

No geral, os tratamentos que obtiveram o incremento da fibra de madeira, apresentaram aspecto escuro típico de material decomposto e uma quantidade considerável de fibras reconhecíveis visualmente (o que não interferiu nas análises de comprovação de compostagem e nem na qualidade (sanidade) do material produzido. Apesar da fibra aumentar o teor de matéria orgânica, ela pode ser mais resistente à compostagem, por causa do seu conteúdo de lignina e sua alta relação C/N. Ao final do processo, o lodo pode já estar quase todo humificado e a fibra não ter a decomposição completa (FOELKEL, 2014).

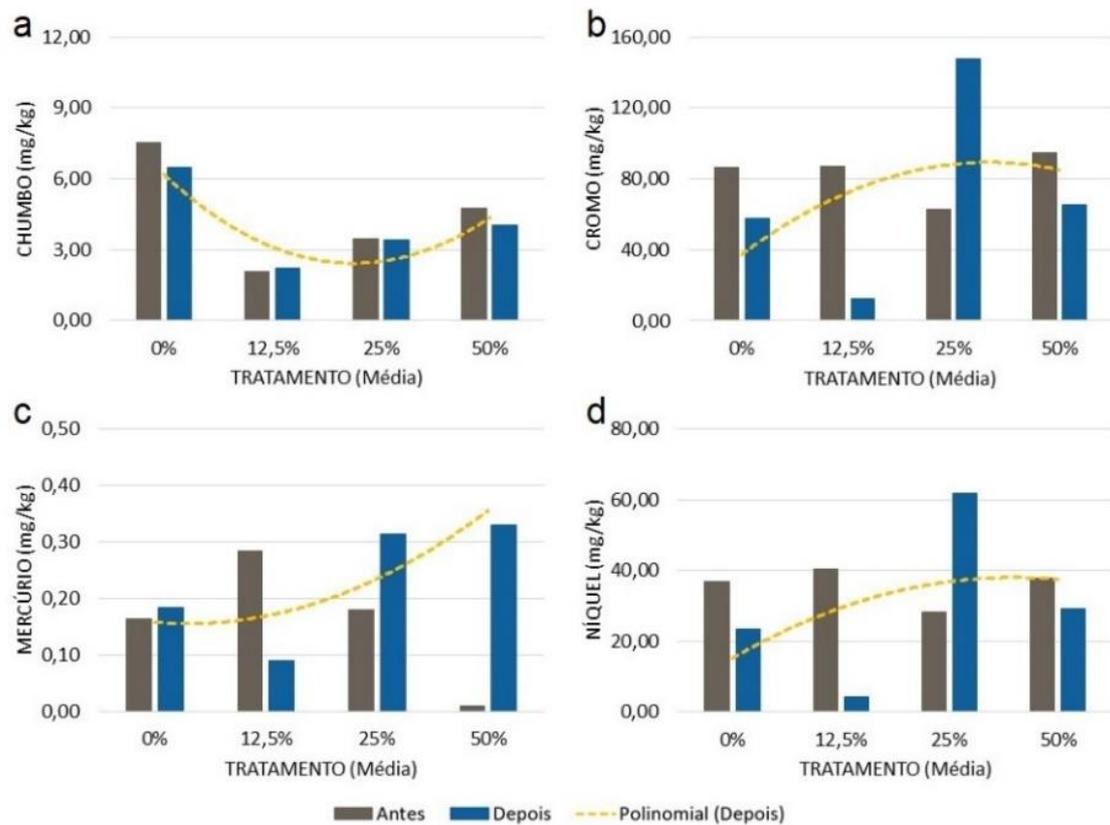
O valor máximo permitido na legislação para a relação Carbono/Nitrogênio é de 20 conforme exigido pela Instrução Normativa nº 25, de 23/07/2009 da Secretária de Defesa Agropecuária (SDA, 2009). Kiehl (2004) explica em seus estudos que, para a incorporação em solo, baixas relações (10/1) são danosas as plantas pois pode ocorrer o desprendimento de amônia, em contrapartida, relações de C/N muito altas podem consumir o nitrogênio presente no solo, causando clorose ou morte de plantas. Com o aumento do volume da fibra no processo de compostagem, era esperado que os resultados da relação de C/N fossem crescentes, porém o tratamento com 25% de fibra quebrou essa tendência, obtendo valor médio final de 18,64 e se enquadrando no valor requerido pela legislação.

Os resultados das análises dos metais pesados mostram que todos os tratamentos se encontram com valores bem inferiores aos limites exigidos pelas Instrução Normativa nº 27, de 05/06/2006 da (SDA, 2006) e Resolução (CEMA, 2013) nº 90, de 03/12/2013.

Porém, com o aumento do volume de fibra de madeira nos tratamentos, os parâmetros como cromo, mercúrio e níquel foram maiores que a testemunha (0%), conforme Gráfico 6 (b, c e d), possivelmente devido à presença desses metais na própria fibra. Pai Neto e Miller (2017) tiveram conclusão semelhante com o metal

chumbo, onde os resultados foram mais elevados quando usado resíduo madeireiro triturado na formulação do composto. Ambos os fatos parecem indicar que há influência da característica do solo onde a floresta foi plantada na presença de determinados parâmetros na biomassa e/ou fibra, como indica estudos realizados por Secco (2012). Arsênio, cádmio e selênio não foram detectados nas análises dos quatro tratamentos.

GRÁFICO 6 – Metais pesados antes e depois da compostagem.



Nenhum dos quatro tratamentos estudados apresentaram contaminantes de *Salmonella* sp., indicando ausência em todas as amostras. Para o parâmetro coliformes termotolerantes, foi encontrado uma grande variação entre as repetições de todos os tratamentos. A testemunha com 0% de fibra, foi a que apresentou o maior índice de coliformes termotolerantes, uma diferença média de 91% a mais que o tratamento com 50% de fibra e 98% para o tratamento com 25% de fibra. Segundo Soto et al. (2017), temperaturas abaixo de 40°C, possibilitaram a viabilidade de coliformes termotolerantes. Na leira de número 01 (0%) a temperatura máxima

atingida foi de 39°C, sendo ineficaz na redução dos coliformes termotolerantes, valores que expressam a dificuldade real do processo conduzido pela indústria. Já no tratamento com 50% foi a leira de número 03, que foram verificados valores de temperatura abaixo de 40°C a partir do dia 55 do experimento. Essas condições contribuíram para os valores acima dos limites legais aos três meses de experimento.

Pereira Neto e Lelis (2001), em seu trabalho sobre contaminação biológica na compostagem, fala sobre a relação tempo/temperatura ser considerada um parâmetro de controle de contaminação biológica por muitos estudiosos e que muitas vezes essa relação é tratada de forma errônea, pois há necessidade de se saber quais são os patógenos que necessitam a eliminação. Algumas espécies de ovos como o *Ascaris lumbricoides* são mais resistentes aos sistemas de higienização, dentre eles os térmicos. Nesse caso, temperaturas na faixa termófila precisam ocorrer em uma faixa de maior de tempo, para serem eficientes para a destruição dos ovos.

Nesse trabalho não houve a identificação dos patógenos existentes nas matérias-primas e no composto. Contudo, a duração da fase termófila possibilitou a destruição dos ovos viáveis de helmintos apenas nas leiras de número 01 (0%), número 07 (12,5%) e número 04 (50%), onde foi obtido o atendimento do valor legal para ovos viáveis de helmintos. Especificamente, a leira de número 04 do tratamento (50% de fibra) obteve os valores abaixo do limite exigido pela legislação aos 3 meses decomposição, para os parâmetros coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos e *Salmonella* sp.

A aplicação do composto produzido continua a mesma conforme projeto agrônômico da indústria de Jaguariaíva-PR, sendo em dose única, a cada 15 anos, em pré-plantio de *Eucalyptus* e/ou *Pinus*, com dose de 40 t/ha atendendo os requerimentos normativos ambientais (SANTOS, 2019).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Diante dos resultados levantados com este trabalho, conclui-se que é viável o uso da fibra de madeira no processo de compostagem. O aumento da matéria orgânica com a adição de fibra de madeira se mostrou eficiente na elevação da

temperatura. Com o aumento da temperatura, obteve-se maior grau de decomposição dos resíduos em menor tempo. Um ganho de 25% no tempo de processamento comparado ao processo normal.

- Nos quatro meses avaliados os tratamentos com 0% e 12,5% não conseguiram atingir as altas temperaturas necessárias. Os resultados obtidos podem ser um reflexo da granulometria e tamanho das leiras, mais baixas e com granulometria mais grosseira do que as dos tratamentos com 25% e 50% de fibra.
- A fibra se mostrou eficiente no combate aos coliformes termotolerantes, sendo a diferença entre a testemunha e o tratamento com 50% de fibra foi de 91% aos três meses e 29% aos quatro meses. Já para o parâmetro de ovos viáveis de helmintos, as leiras de número 01 (0%), 07 (12,5%) e 04 (50%) obtiveram o atendimento do valor legal. Para *Salmonella* sp., todos os quatro tratamentos estudados apresentaram a ausência do contaminante. Todos atenderam os requisitos legais de estar com o pH acima de 6,0 e os tratamentos que obtiveram o incremento de fibra, na média se manterão nos valores legais para umidade.
- O tratamento de 50%, com 12 toneladas de fibra foi o que obteve o melhor resultado, devido principalmente a obtenção de valores abaixo do limite exigido pela legislação para os parâmetros coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos e *Salmonella* sp., e o composto produzido se enquadrar como condicionador de solos em um período de três meses.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Guilherme de Castro *et al.* **Efeitos da Adubação Fosfatada e da Aplicação de Resíduo de Celulose no Crescimento de *Eucalyptus dunnii*.** 2003. Boletim de Pesquisa Florestal. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/34885/1/pag-43-54.pdf>>. Acesso em: 03 jun. 2019.

CEMA. **Resolução nº 90, de 03 de dezembro de 2013.** CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Brasil, Disponível em: <http://www.meioambiente.mppr.mp.br/arquivos/File/Resolucao_cema_090_2013_co_postagem.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2019.

FERNANDES, Fernando; SILVA, Sandra Márcia Cesário Pereira da. **Compostagem de Resíduos Agroindustriais Utilizando Tecnologia de Compostagem de Baixo Custo**. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/custo.pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2019.

FERNANDES, Fernando; SILVA, Sandra Márcia Cesário Pereira da. **MANUAL PRÁTICO PARA A COMPOSTAGEM DE BIODSÓLIDOS**. Universidade Estadual de Londrina. Disponível em: <https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Livro_Compostagem.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2019.

FOELKEL, Celso. **Aplicações da Biotecnologia em Processos Ambientais da Fabricação de Celulose Kraft e de Papel de Eucalipto: Compostagem de Resíduos e Geração de Biogás**. 2014. Disponível em: <http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT35_Compostagem_Residuos_Biogas.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2019.

GLOOGLE EARTH. **Versão 9.3.95.1**. Disponível em: <<https://earth.google.com/web/@-24.23954517,-49.74797498,1011.45509277a,1029.05787659d,35y,141.32843057h,44.9392343t,-0r>>. Acesso em: 18 out. 2019.

GODOY, João Carlos. **Compostagem**. Biomater. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/secex_consumo/_arquivos/compostagem.pdf>. Acesso em: 22 maio 2019.

KIEHL, Edmar José. **Manual de Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto**. 4. ed. Piracicaba, Sp: Degaspari, 2004. 173 p.

LEITE, Thiago de Almeida. **Compostagem Termofílica de Logo de Esgoto: Higienização e Produção de Biossólido para Uso Agrícola**. 2015. Universidade de São Paulo. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6139/tde-02122015-142451/publico/ThiadoDeAlmeidaLeite.pdf>>. Acesso em: 06 ago. 2019.

MALHEIROS, Sérgio Maurício Pinheiro; PAULA JUNIOR, Durval Rodrigues de. **Utilização de Resíduos Agroindustriais no Processo de Compostagem**. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/agro.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2019.

OLIVEIRA, Arlene Maria Gomes; AQUINO, Adriana Maria de; CASTRO NETO, Manoel Teixeira de. **Compostagem Caseira de Lixo Orgânico Doméstico**. 2005. EMBRAPA, Circular Técnica 76. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1022380/1/Compostagemcaseiradelixoorganicodomestico.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

OLIVEIRA, Arlene Maria Gomes; DANTAS, Jorge Luiz Loyola. **Composto Orgânico**. 1995. EMBRAPA, Circular Técnica 23. Disponível em:

<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/81523/1/Composto-Organico-Jorge-Loyola-Circular-Tecnica-23-1995.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

OLIVEIRA, Emídio Cantídio Almeida de; SARTORI, Raul Henrique; GARCEZ, Tiago B.. **Compostagem**. 2008. ESALQ. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Compostagem_000fhc8nfnqz02wyiv80efhb2adn37yaw.pdf>. Acesso em: 01 maio 2019.

PAI NETO, Remi dal; MILLER, Paul Richard Momsen. **Produção de composto em pátio de compostagem municipal utilizando o Método UFSC e análise de sua qualidade química**. 2017. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/84613847.pdf>>. Acesso em: 26 set. 2019.

PEREIRA NETO, João Tinôco; LELIS, Marcelo de Paula Neves. **A CONTAMINAÇÃO BIOLÓGICA NA COMPOSTAGEM**. 2001. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/5252297-lII-021-a-contaminacao-biologica-na-compostagem.html>>. Acesso em: 29 set. 2019.

SANTOS, Elias Borges dos. **Projeto Agrônômico de Aplicação de Resíduos Industriais em Reflorestamentos Próprios de *Eucalyptus* e *Pinus***. 2019. Documento Interno Arauco do Brasil S/A.

SDA. **Instrução Normativa SDA Nº 25, 23 DE JUNHO DE 2009**. SECRETÁRIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=recuperarTextoAtoTematicaPortal&codigoTematica=1229186>>. Acesso em: 13 jun. 2019.

SDA. **Instrução Normativa SDA Nº 27, 05 DE JUNHO DE 2006**. SECRETÁRIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.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: 13 jun. 2019.

SECCO, Rubens. **Caracterização de Níquel, Cromo, Manganês e Vanádio em solos florestais cultivados com *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. na biomassa utilizada como combustível em usina na biomassa da unidade industrial da Arauco do Brasil em Jaguariaíva-PR**. 2012. Documento Interno Arauco do Brasil S/A.

SILVA, Lucimar Novaes da. **Processo de Compostagem com Diferentes Porcentagens de Resíduos Sólidos Agroindustriais**. 2007. Disponível em: <[file:///C:/Users/drehr/Downloads/Lucimar%20Novaes%20da%20Silva%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/drehr/Downloads/Lucimar%20Novaes%20da%20Silva%20(1).pdf)>. Acesso em: 25 abr. 2019.

SOTO, Francisco Rafael Martins et al. **Pesquisa de coliformes em compostagem de resíduos de hortaliças com a utilização de diferentes substratos**. 2017. Revista Agrogeoambiental. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/318742842_Pesquisa_de_coliformes_em_compostagem_de_residuos_de_hortaliças_com_a_utilizacao_de_diferentes_substratos>. Acesso em: 29 set. 2019.