

Determinação do Coeficiente de Biodegradabilidade de Plástico a Base de Amido sob Condição Aeróbia

Mara Adriane Scheren¹, Simone Damasceno Gomes², Marney Pascoli Cereda³

¹UNIVEL - Cascavel/PR

²Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas/UNIOESTE/Cascavel.

³Universidade Católica Dom Bosco/ CeTeAgro Campo Grande/ MS.

Resumo: A biodegradação dos polímeros de amido (fécula de mandioca) e (bandejas termoformadas de fécula de mandioca) foram estudadas em meio sólido inerte de vermiculita com inóculo de resíduo sólido urbano verde e resíduo sólido urbano orgânico e inorgânico. Nos testes de biodegradação realizados no presente trabalho obteve-se taxa de mineralização próxima de 45% para a fécula de mandioca e bandeja termoformada de fécula de mandioca, valor este baixo em relação às normas ASTM e ISO que preconizam um percentual de mineralização acima de 60% para definir um material biodegradável. No entanto, não é possível afirmar que os polímeros testados neste ensaio não sejam biodegradáveis; dessa maneira, deve ser repetido o teste de biodegradabilidade.

Palavras-chave: amido, biodegradação, meio sólido inerte e CO₂.

Determination of Coefficient Biodegradation of Plastic Base Starch under Aerobic Condition

Abstract: The biodegradation of polymers starch (tapioca starch) and (thermoformed trays cassava starch) were studied in solid inert vermiculite inoculum of urban solid waste and municipal solid waste organic and inorganic. In biodegradation tests performed in this study was obtained mineralization rate close to 45% cassava starch and thermoformed tray of cassava starch, this low value compared to ISO and ASTM standards recommend that a percentage of mineralization above 60 % to set a biodegradable material. However, it is not possible to assert that the polymers tested in this assay are not biodegradable, in this manner, the test shall be repeated for biodegradability.

Keywords: starch, biodegradation, inert solid medium and CO₂.

Introdução

Atualmente a disposição de resíduos plásticos se tornou um problema de grande dimensão em decorrência do grande volume gerado, disposição inadequada e dos custos inerentes às técnicas de disposição recomendadas.

Entre as soluções que vêm sendo tomadas para a questão, encontram-se a criação de aterros sanitários em locais adequados, a adoção de programas de coleta seletiva e reciclagem. Além dessas ações observa-se também um aumento do interesse por polímeros biodegradáveis como substitutos aos plásticos tradicionalmente utilizados.

Devido a grande problemática do consumo e descarte de materiais plásticos, pesquisas estão buscando produtos que sejam biodegradáveis como substitutos aos plásticos tradicionalmente utilizados. Alternativas como reciclagem, incineração e reaproveitamento estão sendo utilizadas, mas ainda não resolvem totalmente o problema no sentido de reduzir o descarte desses materiais. (Brito et al., 2011; Karakosta, 2010).

Os poucos bioplásticos presentes no mercado são oriundos principalmente de amido, com 85 a 90% desse constituinte. Entre os bioplásticos de amido incluem-se os fabricados com amidos nativos ou pouco modificados, isolados ou em conjunto com moléculas naturais ou sintéticas (Vilpoux e Averous, 2003).

Nessa categoria, inclui-se o ácido lático obtido por fermentação do amido e o PLA, considerado como o bioplástico com maior potencial nos próximos anos. O PCL e o PLA são os polímeros que dominam o mercado, com exceção dos derivados de amido (Calabia et al., 2010; Mahboobeh, 2012).

A fécula de mandioca, devido as suas propriedades peculiares que tem demonstrado para o setor, tem sido objeto de estudos no desenvolvimento de materiais plásticos biodegradáveis em condições que simulem as condições reais nas quais os resíduos sólidos biodegradáveis serão dispostos no ambiente. (Castro, 2004; Vicentini, 2003 e Brito et al, 2011).

A biodegradabilidade é profundamente afetada pela composição química do plástico, por sua morfologia, pelas condições do meio, pela presença de aditivos na sua formulação e outros fatores favoráveis e desfavoráveis à decomposição (De Paoli et al., 2008; Calabia et al., 2010 e Luckachan e Pillai, 2011).

Os microrganismos que atuam no processo de biodegradação de polímeros são caracterizados essencialmente por bactérias e fungos entre outros microrganismos de menor relevância (Cougneau et al., 2011; De Paoli et al., 2008 e Gattin et al., 2002).

Em ensaio realizado sobre a biodegradação de resíduos orgânicos no solo, Tauk (1990) apud Ghizelini (2005) resalta que é um processo complexo, que envolve grande número e variedade de microrganismos na decomposição do material vegetal, e que existem pelo menos quatro grupos distintos desses organismos: celulolíticos, hemicelulolíticos, pectinolulíticos e lignolulíticos.

As diferentes normas para biodegradabilidade de plásticos que existem (ASTM, e ISO) apresentam condições de compostagem diferentes, o que impede a comparação dos resultados. Assim, para favorecer o desenvolvimento desses materiais é necessário um logotipo internacional que seja reconhecido pelo consumidor para indicar que o material comprado é compostável (Vilpoux e Averous, 2003).

De acordo com as normas norte americanas (ASTM) e européias (ISO/CEN) que estabelecem condições para testes de biodegradabilidade, 60 % do C do polímero tem de ser mineralizada para CO₂ em 45 dias para que o mesmo possa receber a designação de “biodegradável”.

Em relação a isso, Gattin et al., (2002), Longieras et al., (2004) e Liu et al., (2011) avaliaram a biodegradabilidade de material co-extrusado de amido e PLA em meio sólido de vermiculita com temperatura elevada, obtiveram altas taxas de mineralização para o material testado durante 45 dias de processo.

Cougneau et al., (2011) sobre estudo do efeito da armazenagem de composto no potencial para a biodegradação de plásticos observaram que dependendo do tempo de armazenamento a temperatura influencia ou não no processo de biodegradação. Bem como o uso e tipo de microrganismos.

Em outro trabalho realizado por Mezzanotte et al., (2005) sobre a Influência do tipo de inóculo nos resultados em testes de biodegradação, de acordo com o método de padronização ISO 14851 comparando diferentes tipos inóculos de lodo ativado, concluíram que a origem do inóculo é importante recurso da variabilidade que pode afetar a taxa de mineralização dos materiais degradados.

Longieras et al.,(2004) em ensaio realizado sobre a biodegradabilidade de material em meio sólido inerte de vermiculita num período de 18 dias, testaram duas quantidades distintas de inóculos concluindo que uma maior quantidade de inóculo influencia numa maior taxa de mineralização (Longieras, 2007).

O objetivo do experimento foi determinar o potencial de biodegradabilidade de materiais à base de fécula de mandioca em meio sólido inerte (vermiculita), sob condições aeróbias controladas. Bem como fornecer informações obtidas em condições de Brasil, sobre

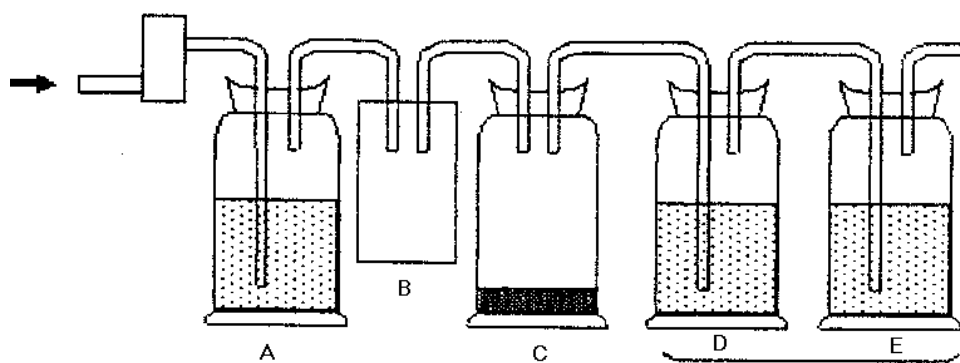
o potencial de biodegradabilidade de materiais a base de amido, sendo que os mesmos não constam ainda na literatura internacional.

Material e Métodos

O experimento foi realizado no laboratório de Tecnologia de Alimentos, localizado no Campus de Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE.

Os materiais avaliados quanto à biodegradabilidade foram fécula de mandioca (L S AGRO INDUSTRIAL LTDA, de Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil, lote 05 de 16/07/2010), (Figura 1) com teor de carbono orgânico total de 498,68 g/kg. E bandejas termoformadas de fécula de mandioca, Castro (2004) e Vicentini (2003) cedidas pela Empresa Natu-Lyne – Materiais Biodegradáveis, Botucatu, São Paulo, (Figura 2) com teor de carbono orgânico total de 533,75 g/kg.

Os ensaios de biodegradabilidade foram realizados em respirômetros (Figura 1), segundo a ISO 17556/2003. Foi fornecido oxigênio ao sistema através de bombas utilizadas em aquários para peixes com uma vazão de 30 l/minuto. Os conjuntos de frascos foram mantidos em estufa de incubação do tipo BOD sob temperatura controlada de 30 °C e 36 °C.



Fonte: ISO 17556/2003

Figura 1. Respirômetro utilizado para realização do teste de biodegradabilidade através da medida de Dióxido de Carbono Liberado no experimento

O substrato utilizado foi o meio sólido inerte de vermiculita fina. Como a vermiculita suplementado com uma solução mineral livre de carbono para nutrição dos microrganismos no bioreator conforme recomendação de (Gattin et al., 2002).

O inóculo foi extraído de composto de resíduo sólido urbano conforme metodologia descrita por Longieras et al., (2004). Foram utilizados dois inoculos provenientes de fontes distintas de resíduo sólido urbano. Composto derivado de resíduo sólido orgânico, lixo de poda de árvores denominado de composto verde e composto de resíduo sólido orgânico e inorgânico, lixo doméstico denominado de composto Total; ambos da Usina de Reciclagem de Lixo de Marechal Cândido Rondon, região Oeste do Estado do Paraná.

Foi realizada análise microbiológica para identificar e quantificar os microrganismos predominantes com potencial de biodegradação segundo literatura (Luckachan e Pillai, 2011; Moreira e Siqueira, 2006 e Chivrac, 2010).

Os conjuntos de frascos foram mantidos em estufa de incubação do tipo BOD com temperatura controlada em 30 °C, 15 mL de inóculo durante 18 dias para fécula de mandioca quando testada a origem do inóculo que foi preparado segundo Longieras et al., (2004) proveniente de composto sólido urbano total (resíduo doméstico, orgânico e inorgânico) e composto sólido verde (resíduo de poda de árvores), ambos de fonte distinta.

Para avaliação da biodegradação da bandeja termoformada de fécula de mandioca Castro (2004) foi usada temperatura de 36°C durante 45 dias para fécula de mandioca (material referencial) e 60 dias para bandejas termoformadas de fécula de mandioca com inóculo extraído de composto verde. O experimento foi conduzido em triplicata para o branco e fécula de mandioca e quarteto para as bandejas termoformadas de fécula de mandioca (ISO 17554/2003; Longieras et al., 2004).

Após a instalação do experimento, a biodegradabilidade do material teste em vermiculita, sob condição aeróbia foi determinada em intervalos de tempo através da quantificação do dióxido de carbono liberado durante o processo. Foi avaliado a liberação de dióxido de carbono através do método da titulometria, usando a solução de hidróxido de bário a 0,0125 N e titulação com solução de HCl 0,05 N. Em seguida foram procedidos os cálculos para a determinação da biodegradabilidade a partir dos dados de dióxido de carbono liberado no processo de mineralização segundo a (ISO 17554/2003).

Simultaneamente ao processo de degradação dos materiais foi testada a influência da origem e quantidade do inóculo usado no experimento como agente degradador. O procedimento metodológico seguiu as regras internacionais para determinação de potencial de biodegradabilidade para plásticos.

Resultados e Discussão

Na análise qualitativa para os compostos provenientes de resíduo sólido orgânico; resíduo de poda de árvores (Composto verde) e resíduo doméstico (Composto total) para fungos foi encontrado os seguintes gêneros de microrganismos: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus* e *Trichosporon*. Tanto para o inóculo derivado do composto verde como para o derivado do composto total o gênero *Aspergillus* apresentou maior média.

Os gêneros *Penicillium*, *Rhizopus* e *Trichosporon* respectivamente apresentaram segunda, terceira e quarta médias. O Composto verde apresentou maior número de microrganismos do que o composto total (Figura 2).

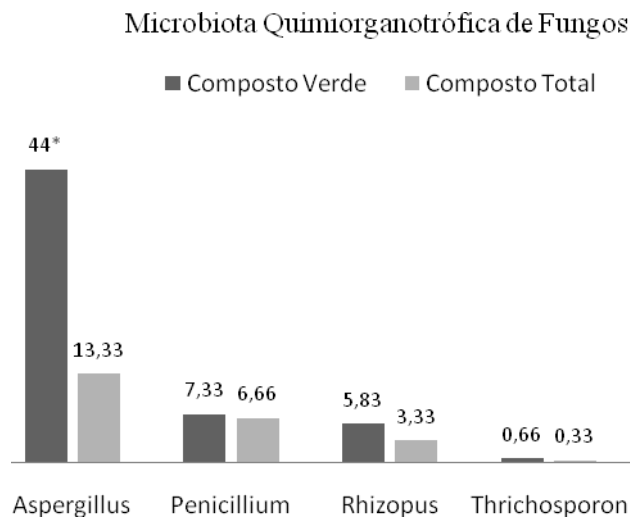


Figura 2. Média da Microbiota do Resultado estatístico Tukey a 5% para os gêneros de fungos encontrados no Composto Verde e Composto Total

* Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade com $P \leq 5$.

O gênero de fungo *Aspergillus* apresentou maior média para o composto verde do que para o composto total e segundo Gattin et al., (2002) *Aspergillus fumigatus*, degrada amido em meio sólido.

Ghizelini (2005) caracterizou os gêneros de fungos que apareceram com maior frequência em experimento realizado na decomposição de *Pinus taeda*: *Trichoderma*, *Fusarium*, *Verticillium*, *Penicillium*, *Pestalotia*, entre outros de menor incidência.

Silva et al. (2004), testaram em bioreatores três espécies de fungos obtendo os seguintes resultados: *Aspergillus oryzae* com 95,56% de biodegradação do resíduo agrícola, *Aspergillus terreus* com 92,59% e *Aspergillus niger* com 82,82%.

Dessa maneira, observa-se em comparação com trabalhos realizados na identificação de espécies de microrganismos específicos para a biodegradabilidade de certo material, que a presença do gênero de fungos *Aspergillus* é vasta no processo de biodegradação em meio sólido, demonstrando que os mesmos tem um papel relevante como degradadores de materiais vegetais (Ruegger e Tauk-Tornisielo, 2004; Mahboobeh, 2012 e Longieras et al., 2007).

As colônias de bactérias que foram encontradas nos dois inóculos provenientes dos compostos foram branca, creme lisa, creme rugosa, amarela e vermelha; e o gênero *Actinomyces*.

Tanto para o inóculo derivado do composto verde como para o derivado do composto total a colônia de bactérias creme lisa apresentou maior número de microrganismos. A colônia vermelha apresentou menor média. O composto verde apresentou maior número de microrganismos na análise da microbiota quimiorgânótrófica em todos os sentidos do que o composto total (Figura 3).

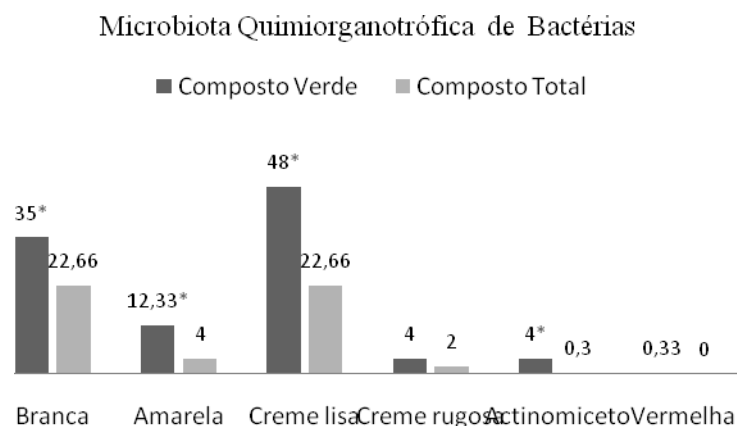


Figura 3. Média da Microbiota do resultado estatístico Tukey a 5% para as colônias e gênero de bactérias encontradas no Composto Verde e Composto Total.

* Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade com $P \leq 5$.

Gattin et al. (2002), no ensaio realizado sobre o estudo da biodegradação do amido e poly (ácido láctico) co-extrusado em meio líquido, compostagem e em meio mineral inerte, caracterizou os microrganismos do composto do resíduo sólido verde utilizado no processo de

biodegradação antes do início do experimento, e encontrou os seguintes componentes: *Sphingomonas paucimobilis*, *Moraxella* spp, *Bergeyella zoohelcum*, *Brevundimonas vesicularis*, *Methylobacterium mesophilicum*, *Chryseobacterium meningosepticum*, *Agrobacterium radiobacter*, *Agrobacterium sobria*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Acaligenes xylosoxydans*, *Burkholderia cepacia*, *Morexella lacunata*, *Aeromonas sobria*, *Aspergillus fumigatus*, *Absidia cynlinfrospora*, *Penicillium brevicompactum*, *Rhodotolura glutinis*, *Trichosporon pullulans*, foram identificados. Desses, segundo Gattin et al., (2002), apenas *Aspergillus fumigatus* e *Agrobacterium radiobacter*, podem degradar o amido e o ácido láctico.

Cury (2002) em trabalho sobre a atividade microbiana e diversidades metabólicas e genética em solo de mangue contaminado com petróleo, testou a atividade de duas bactérias quanto a sua resistência a ambiente poluído com petróleo.

Cury (2002) e Liu et al., (2011) demonstraram que bactérias são melhores degradadores em meio líquido.

Na Figura 4 é apresentado o resultado da taxa de mineralização para a fécula de mandioca quando testada com inóculo de composto urbano total e composto urbano verde.

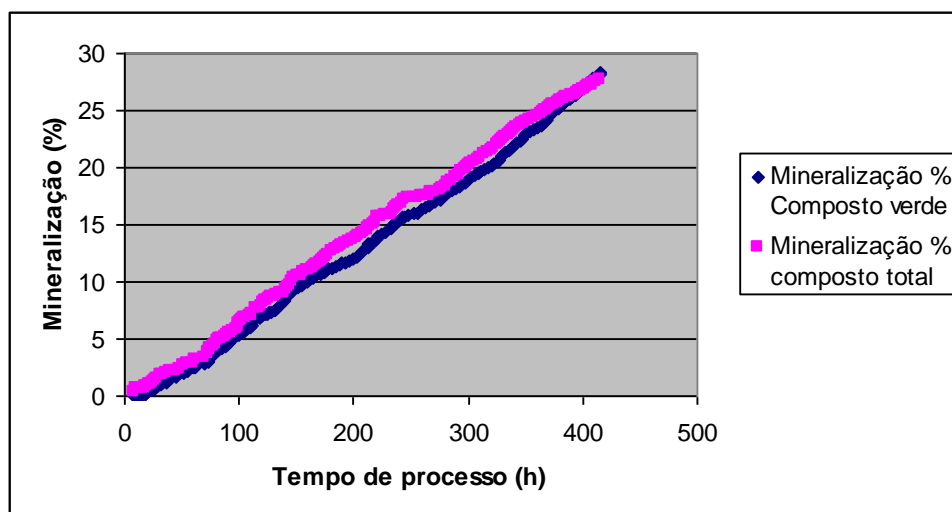


Figura 4. Taxa de Mineralização da Fécula de Mandioca para o Composto Verde e Composto Total.

Os resultados da Figura 4 mostram os dados referentes à origem do inóculo para 15 mL de inóculo, a 30 °C durante 18 dias de processo em vermiculita com uma fase de latência de 7 h e uma taxa de mineralização variando em torno 28,37% para o composto verde e 27,71% para o composto total.

Nas Figuras 5 e 6 são apresentados os resultados para fécula de mandioca (material referencial) e bandeja termoformadas de fécula de mandioca com as suas várias repetições.

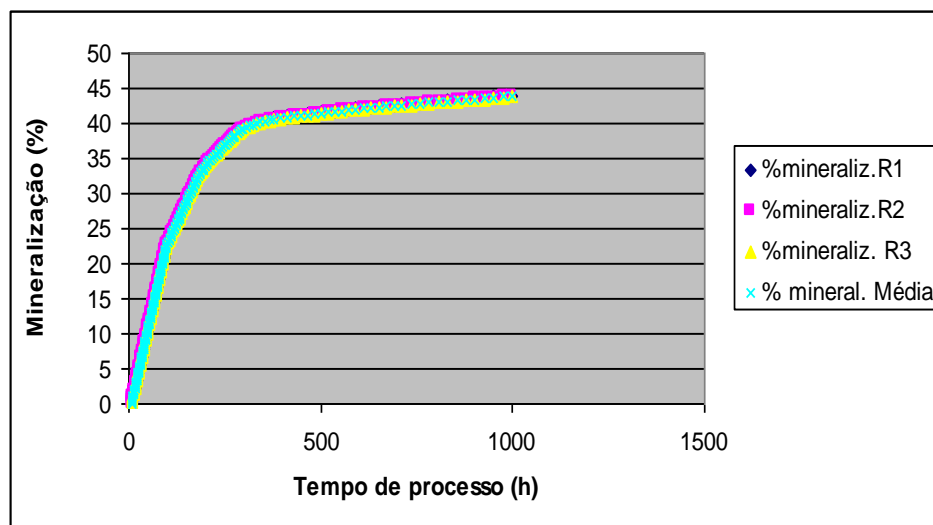


Figura 5. Taxa de Mineralização para Fécula de Mandioca (material referencial) com as várias repetições usadas no ensaio

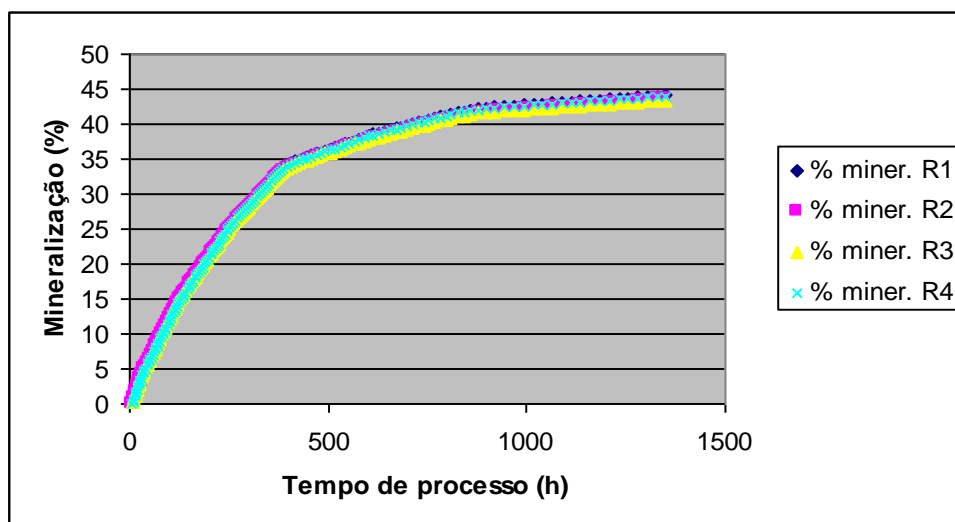


Figura 6. Taxa de Mineralização para bandejas termoformadas com as várias repetições usadas no ensaio

Em relação às taxas de mineralização para bandejas termoformadas de fécula de mandioca, quando usado 45 mL de inóculo para a fécula de mandioca (material referencial) (Figura 5) e bandejas termoformadas (Figura 6) obteve-se respectivamente os valores 43,89%

e 43,71% em 45 dias de processo em vermiculita a 36 °C com uma fase de latência de 7 h e inóculo proveniente de composto de resíduo verde.

Dados da literatura obtidos por Longieras et al., (2004) sobre a degradação de polímero de amido, testaram inóculo com 15 mL durante 18 dias de processo em vermiculita não ativada, obtendo uma fase de latência de 6 h e uma fase de platô em torno de 12 a 13 dias com uma taxa de mineralização de 68,9% .

Para inóculo com 45 mL durante 18 dias, obtiveram uma fase de latência de 6 h e fase de platô com 12 a 13 dias também e taxa de mineralização com 72,9%, com inóculo de origem de composto verde. Dessa maneira, esse ensaio provou que a quantidade de inóculo influencia na taxa de mineralização segundo literatura, mas não influencia na fase de latência e de platô segundo trabalho realizado por (Longieras et al., 2007).

Não se constatou que a origem do inóculo tenha influência na taxa final de mineralização do polímero como constatado por Mezzanotte et al., (2005) usando o método de padronização ISO 14851 testaram cinco tipos de inóculos de lodo provenientes de fontes distintas de unidades de tratamento de águas residuárias na Itália, para realizar a biodegradação de NF01U da Mater-Bi.(material a base de amido) e PCL (material com certa quantidade de amido). Os inóculos 1 e 5 apresentaram 30% de biodegradação, o inóculo (4) 45%, inóculo (2) 70% e o inóculo (3) 90% provando que a fonte influencia no potencial de biodegradabilidade.

A esse resultado infere-se a temperatura e o tempo utilizados neste trabalho, de acordo com Gattin et al., (2002) e Longieras et al., (2007) usaram temperatura graduada a 58 °C em condições ambientais européias, com alta taxa de mineralização para biodegradabilidade de material a base de amido com 45 dias de processo.

De acordo com as normas de avaliação da biodegradabilidade (ASTM 2004 e ISO 2003 e 1998), 60 % do C do polímero precisa ser mineralizada para CO₂ em 45 dias, para que o mesmo possa receber a designação de “biodegradável”. Segundo os resultados obtidos nesse ensaio o material usado como referência (fécula de mandioca) alcançou um patamar de 43,89% de mineralização do carbono da amostra submetido ao teste.

Para as bandejas termoformadas cujo constituinte primário é o material referencial, o processo de degradabilidade se estabilizado a partir do 45º dia em torno de 43,71 % de mineralização do carbono da amostra não atingindo para ambos a mineralização mínima que preconiza as normas (ISO/DIS 17556, 2003) e (ISO/CEN 14855, 1998) usadas neste ensaio para avaliação do potencial da biodegradabilidade.

Gattin et al., (2002) em ensaio comparando a biodegradabilidade de amido e poly (ácido láctico), utilizando meio sólido inerte com vermiculita, encontrou uma taxa de mineralização em torno de 67% para o amido num período de 45 dias com temperatura estabilizada em 58 °C e 15 mL de inoculo proveniente de composto verde.

Resultados positivos num teste de biodegradação provam que o polímero é biodegradável, enquanto que resultados negativos no final do teste não provam que o polímero não seja biodegradável. No caso de um resultado negativo, deve-se repetir o teste utilizando-se inoculo de fonte diferente. (Mezzanotte et al., 2005).

Mezzanotte et al., (2005) observaram também que um processo de biodegradação conduzido em laboratório apresenta resultados diferentes daqueles conduzidos no ambiente natural, com as mesmas condições ambientais. Em relação a isso, Jiang et al., (2010) testaram dois materiais plásticos, polycaprolatona (PCL) e poly-(butileno succinato) (PBS) para serem biodegradado por compostos armazenado e fresco em temperaturas de -20 °C, 4 °C e 20 °C com períodos de 30 dias, 60 dias e 90 dias.

Observaram que para o PCL a biodegradabilidade do composto armazenado em 30 dias foi independente da temperatura de armazenamento, enquanto que a biodegradabilidade do composto armazenado em 90 dias dependeu da temperatura de armazenamento. Para o PBS a biodegradabilidade mudou com a temperatura de armazenamento não somente para o composto armazenado nos 90 dias como também para o composto armazenado nos 30 dias.

Os resultados de biodegradação para o PBS foram contrários às expectativas, pois a biodegradabilidade do PBS foi mais rápida no composto armazenado do que no fresco. Dessa maneira, conclui-se que a composição química e física do material a ser degradado pode depender ou não da temperatura de armazenamento do composto. Nesse ensaio o composto teve passado por um período de armazenamento infere-se que isso possa ter influenciado no processo de biodegradação.

Neste trabalho utilizaram-se temperaturas de 30 °C para fécula de mandioca com 18 dias de processo e 36 °C para fécula de mandioca (material referencial) com 45 dias de processo e bandejas termoformadas com 60 dias de processo. Os materiais utilizados no ensaio possuem características químicas semelhantes na sua constituição, conseqüentemente o tipo de material não influenciou nesse processo de biodegradabilidade, acredita-se que a temperatura tenha afetado a taxa de mineralização.

Pois, Gattin et al., (2002) e Longieras et al., (2004) usaram temperatura graduada a 58 °C, em condições ambientais européias, obtendo taxas em torno de 70% a 90% de mineralização para biodegradabilidade de material a base de amido com 45 dias de processo.

Para afirmar que a temperatura influenciou neste ensaio seriam necessário a realização de novos testes com temperaturas em 30 °C, 36 °C e 58 °C num mesmo período de tempo com as mesmas condições ambientais.

A taxa de mineralização obtida por Gattin et al. (2002) apresentou um percentual maior em relação à taxa obtida nesse ensaio. Essa diferença pode ser explicada levando-se em consideração as condições ambientais nas quais o ensaio foi conduzido, como temperatura, tipo de composto que deu origem ao inoculo (características químicas e físicas do composto devido ao clima subtropical e tropical do Sul do Brasil).

O equipamento foi construído de forma artesanal, (respirômetro) (Figura 1) utilizando-se garrafas PET com mangueiras de silicone, erlemeyers de 1000 mL e aeradores de aquário para injetar ar no sistema ajustados para 30 l/min. Essas condições podem ter proporcionado aeração inadequada para os microrganismos, perda de gás dióxido de carbono; vazamento através da tampa das garrafas, como também problemas na hora da troca da solução de hidróxido de bário que capturava o dióxido de carbono liberado no processo de biodegradação.

Conclusões

Na avaliação microbiológica dos inóculos o gênero de fungos *Aspergillus* obteve maior média, e os gêneros *Penicillium*, *Rhizopus* e *Trichosporon* apresentaram menores números, tanto para o inóculo derivado do composto verde como para o derivado do composto total. A colônia de bactérias creme lisa apresentou maior número de microrganismos e a colônia vermelha apresentou menor número. O Composto verde apresentou maior número de microrganismos do que o composto total.

Na biodegradação da fécula de mandioca em meio inerte sólido de vermiculita em função do tipo de inóculo utilizado obteve-se valores de 28,37% para o composto verde e 27,71% para o composto total não demonstrando diferença aparente entre os dois inóculos.

Nos testes de biodegradação em meio sólido inerte de vermiculita realizados no presente trabalho obteve-se taxa de mineralização próxima de 45% para a fécula de mandioca e bandeja termoformada de fécula de mandioca, valor abaixo do mínimo estabelecido pelas normas internacionais para biodegradabilidade. O fato deve-se ao equipamento rudimentar utilizado ou metodologia aplicada.

O ensaio teve sua validade, pois testou a metodologia descrita em condições ambientais brasileiras, já que as mesmas não constam em literatura internacional.

Referências

ASTM D- 6400, 2004. Standard Specification for Compostable. ASTM, West Conshohocken, PA, 2004.

BRITO, G. F.; AGRAWAL, P.; ARAÚJO, E. M.; MELO, T.J.A. Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.6.2 (2011) 127-139. ISSN 1809-8797.
<http://www.dema.ufcg.edu.br/revista/index.php/REMAP/article/viewFile/222/204>. 15 abr. 2012.

CALABRIA, B. P.; TOKIWA, Y.; UGWU, C. U.; AIBA, S. Biodegradation. In: **Auras, R.; Lim, L.; Selke, S.E.M.; Tsuji, H. Poly (lactic acid): Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Applications**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2010.
[http://onlinelibrary.wiley.com/Poly\(Lactic Acid\): Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Applications](http://onlinelibrary.wiley.com/Poly(Lactic Acid): Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Applications). 10 set. 2012. DOI: 10.1002/9780470649848.ch25

CASTRO, T.M.R. **Caracterização de bandejas termoformadas de fécula de mandioca**. 2004. Faculdade de Ciências Agrônomicas - Unesp. Dissertação (Energia na Agricultura).

CHIVRAC, F.; POLLET, E.; DOLE, P.; AVÉROUS, L. Starchbased nano-biocomposites: Plasticizer impact on the montmorillonite exfoliation process. **Carbohydrate Polymers**. V. 79, n. 4, 2010. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861709005621>. 04 mar. 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbr.2011.03.031>

CURY, J. C. **Atividade Microbiana e Diversidade Metabólica e Genética em Solo de Mangue Contaminado com Petróleo**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2002. 95 p. Dissertação de Mestrado.

COUGNEAU, C.; DOMENEK, S.; GUINAULT, A.; AVERÉROUS, L.; DUCRUET, V. Analysis of the Structure-Properties Relationships of Different Multiphase Systems Based on Plasticized Poly(Lactic Acid). **Journal of Polymers and the Environment** (21 February 2011), pp. 1-10, <http://www.citeulike.org/article/8934528>. 22 mai. 2012. doi:10.1007/s10924-011-0285-5

DE PAOLI, M. A. **Degradação e Estabilização de Polímeros**. São Paulo: Editora Artliber, 2008.
<http://www.chemkeys.com/blog/wp-content/uploads/2008/09/polimeros.pdf>. 17 set. 2012.

GATTIN, R. COPINET, A. BERTRAND, C. COUTURIER, Y. A biodegradation study of a starch and poly (lactic acid) co-extrude material in liquid, composting and inert mineral media. **Intyernational Biodeterioration & Biodegradation**, 50 (2002) 25-31. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830502000392>. 15 mar. 2012. [http://dx.doi.org/10.1016/S0964-8305\(02\)00039-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0964-8305(02)00039-2)

GHIZELINI, A. M. **Sucessão de Fungos em Acículas de Pinus taeda em Decomposição**. Pós-Graduação em Engenharia Florestal. UFPR. Curitiba, PR.2005.61f. Dissertação (Mestrado).

Internacional Standard ISO/CEN 14855, 1998. **Plastics**. Evaluation of ultimate aerobic biodegradability and disintegration of plastic materials under controlled composting conditions. Method by analysis of released carbon dioxide.

International Standard ISO/DIS 17556, 2003. **Plastics**. Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials in soil by measuring the oxygen demand in a respirometer or the amount of carbon dioxide evolved.

KARAKOSTA, C.; ASKOUNIS, D. Developing countries' energy needs and priorities under a sustainable development perspective: A linguistic decision support approach. **Energy for Sustainable Development**, V. 14, n. 4, 2010, pp 330-338. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082610000396>. 01 mai. 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2010.07.008>

MEZZANOTE, V.; BERTANI, R.; DEGLI, I., F.; TOSIN, M. Influence of inocula on the results of biodegradation tests. **Polymer Degradation and Stability** 87 (2005) 51-56. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014139100400240X>. 10 julho 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2004.06.009>.

MAHBOOBEH, E.; KAMYAR, S.; NOR AZOWA I.; WAN MD Z. W. Y. Degradability Enhancement of Poly(Lactic Acid) by Stearate-Zn₃Al LDH. **International Journal of Molecular Sciences**. 2012; 13(7): 7938–7951. <http://europemc.org/articles/PMC3430213/reload=0;jsessionid=znHvFr5IC24hCufeTb2h.4>. 18 out. 2012. DOI: 10.3390/ijms13077938

LIU, H.; SONG, W.; CHEN, F.; GUO, L.; ZHANG, J. Interaction of microstructure and interfacial adhesion on impact performance of polylactide (PLA) ternary blends. **Macromolecules**. V.44, n.6, 2011. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ma1026934>. 15 mai. 2012.

LONGIERAS, A.; COPINET, A.; BUREAU, G.; TIGHZERT, L. Polymer Degradation and Stability. Available online at www.sciencedirect.com. 83 (2004) 187-194. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014139100300226X>. 14 mar. 2012. [http://dx.doi.org/10.1016/S0141-3910\(03\)00226-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0141-3910(03)00226-X)

LONGIERAS, A.; TANCHETTE, J. B.; ERRE, D.; BRAUD, C.; COPINET, A. Compostability of Poly(lactic): Degradation in an Inert Solid Medium. **Journal of Polymers Environment**. V. 15, n. 3, 2007. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S015139100310227X>. 14 mar. 2012.

LUCKACHAN, G.E.; PILLAI, C.K.S. Biodegradable Polymers- A Review on Recent Trends and Emerging Perspectives. **Journal of Polymers and the Environment**, 2011, V. 19, n. 3, pp 637-676. <http://rd.springer.com/article/10.1007/s10924-011-0317-1#>. 31 out 2012.

MORREIRA, F.M.S.; Siqueira, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2 ed. Editora UFLA:2006. Lavras. 729p.

RUEGGER, M. J. S.; TAUKE-TORNISIELO, S. M. **Atividade da celulase de fungos isolados do solo da Estação Ecológica de Juréia-Itatins**, São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 27, n. 2, p. 205-211. 2004. <http://www.scielo.br/pdf/rbb/v27n2/v27n2a01.pdf>

VICENTINI, N.M. **Elaboração e caracterização de filmes comestíveis de fécula de mandioca para uso em pós-colheita**. 2003. Faculdade de Ciências Agrônômicas – Unesp. Tese (Horticultura).

VILPOUX, O.; AVÉROUS, L. Plásticos à base de amido. In: CEREDA, M. (org) **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino americanas**. V.3. São Paulo: Fundação Cargill, 2003. http://averousl.free.fr/fichiers/Starch-based_Plastics.pdf

Recebido para publicação em: 12/05/2014

Aceito para publicação em: 15/10/2014