

COMPORTAMENTO DE FUNGOS TOTAIS NA DEGRADAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM UMA CÉLULA EXPERIMENTAL

Naiara Angelo Gomes¹; Márcara Vilar de Araújo Almeida²; Kellianny Oliveira Aires³;
Mateus Araújo de Souza Celestino⁴; Márcio Camargo de Melo⁵

¹ Universidade Federal de Campina Grande, naiaraangelocz@hotmail.com

² Universidade Federal de Campina Grande, marbara_vilar@hotmail.com

³ Universidade Estadual da Paraíba, keliannyoaires@hotmail.com

⁴ Universidade Federal de Campina Grande, mateusaraujo96@hotmail.com

⁵ Universidade Federal de Campina Grande, melomc90@gmail.com

RESUMO: A degradação dos resíduos sólidos urbanos é um processo que inclui fatores físicos, químicos e microbiológicos. Com relação à microbiologia presente neste processo, os fungos e bactérias são os principais decompositores desses resíduos. Entretanto, a maioria dos estudos desenvolvidos nesta temática aborda somente o papel desempenhado pelas bactérias. Contudo, os fungos são fundamentais na degradação dos RSU, pois estes organismos propiciam a digestão inicial destes resíduos. Neste sentido, o presente trabalho teve por objetivo analisar o comportamento dos fungos totais, no processo biodegradativo, em uma célula experimental preenchida com RSU da cidade de Campina Grande-PB. Os fungos foram cultivados em placas de Petri contendo 10 ml do meio de cultura Agar Sabouraud Dextrose e do antibiótico cloranfenicol. Em seguida foi realizado um extrato das amostras dos resíduos, o qual foi diluído na proporção de 1:10 em água destilada e foram feitas diluições de 10^{-1} a 10^{-5} , onde foi retirado 0,1 mL da diluição 10^{-4} e inoculado na superfície do meio de cultura. Sendo assim, os resultados encontrados foram confrontados com os parâmetros pH, teor de água e concentração de oxigênio medidos na mesma célula experimental. Os resultados indicaram que o crescimento dos fungos variou numa ordem de grandeza de 10^5 a 10^7 UFC/g nos diferentes níveis da célula experimental, e com o passar do tempo teve um decaimento discreto, não interferindo assim, no processo biodegradativo dos RSU. Já os parâmetros analisados pH, teor de água e concentração de oxigênio não interferiram no crescimento dos organismos fúngicos.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos sólidos urbanos, Degradação biológica, Organismos fúngicos.

INTRODUÇÃO

O processo da biodegradação consiste na modificação de fatores físicos ou químicos, causados pela ação de microrganismos, sob condições adequadas de temperatura, umidade, oxigênio, nutrientes orgânicos, entre outro (FRANCHETTI e MARCONATO, 2006).

De acordo com Castilhos Jr. et al. (2003) a biodegradação de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) se dá pela ação conjunta de diferentes grupos de microrganismos, como fungos e bactérias. Assim, o referido processo possui uma elevada diversidade desses microrganismos, mas a maioria dos estudos se concentram na abordagem somente de bactérias aeróbias e anaeróbias. Entretanto, o estudo de fungos se torna bastante atraente, pois estes organismos propiciam a degradação inicial aos resíduos.

Santaella et al. (2005) ainda complementam citando que os fungos são organismos que vem se mostrando hábeis em degradar compostos xenobióticos e outros de grandes cadeias moleculares que, em geral, são de difícil degradação.

Desta forma, estudar o comportamento dos fungos totais no processo de degradação de RSU é muito importante no sentido de compreender melhor o papel destes organismos na decomposição desses resíduos, além do mais, é um fator que pode, inclusive, otimizar o processo.

No sentido de conhecer melhor o comportamento biodegradativo dos resíduos sólidos urbanos, surge como alternativa o estudo desses resíduos em células experimentais (lisímetros). Através dessa técnica, os dados obtidos podem ser utilizados para elaboração de projetos, dimensionamento e construção de aterros em escala real, além disso, estudos em lisímetros ou células experimentais proporcionam o controle mais direto das variáveis a serem estudadas o que facilita a obtenção e tratamento de dados.

Com o intuito de conhecer melhor o comportamento geral dos resíduos sólidos aterrados foi construída uma célula experimental que encontra-se localizada na sede da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), onde são desenvolvidos diversos estudos, relacionadas a variadas temáticas que englobam o processo biodegradativo; dentre estes, foco desta pesquisa, o comportamento de fungos totais no processo da biodegradação dos RSU.

METODOLOGIA

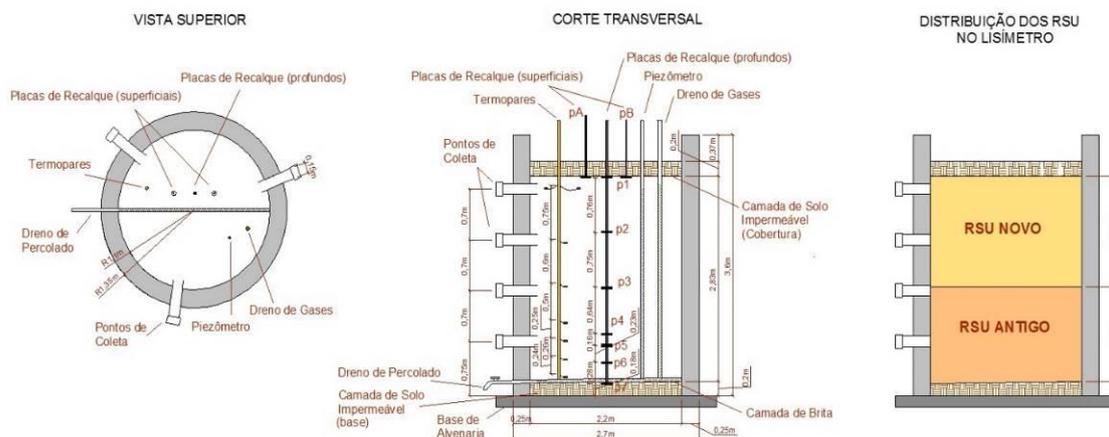
▪ Caracterização do Campo Experimental

O campo experimental desta pesquisa foi um lisímetro e encontra-se localizado nas dependências da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), em Campina Grande-PB.

A célula experimental (Figura 1), foi preenchida com RSU da cidade de Campina Grande, e possui um formato circular com dimensões de 3,5 metros de altura, 2,0 metros de diâmetro interno e 11 m³ de volume, sendo dotada de 12 pontos diametralmente localizados, dos quais, 3 pertencem ao nível denominado superficial, 3 ao nível superior, 3 ao nível intermediário e 3 ao nível inferior, esses pontos são distanciados 0,7 metros um do outro em sentido vertical. Além disso, esta célula é dotada de uma camada de solo compactado com baixa permeabilidade (10⁻⁷m/s) tanto na base como na cobertura, para assim, evitar a percolação de líquidos e gases para o ambiente externo.

A construção e instrumentação da célula experimental foi realizada no ano de 2011. A sua instrumentação foi baseada em instrumentos utilizados para o monitoramento de aterros em escala real, entre estes estão: medidores de temperatura (termopares), medidores de recalque (placas de recalque), medidor do nível de líquido no interior da célula (piezômetro) e sistema para a coleta de líquidos e aferição da concentração de biogás (Figura 1).

Figura 1 – Croqui da célula experimental que simula um aterro sanitário



Fonte: Grupo de Geotecnia Ambiental (GGA), 2015

Os pontos referentes ao nível superficial foram desativados logo na primeira coleta de amostras de RSU, isso aconteceu devido ao recalque imediato ocorrido, ou seja, deformações verticais imediatas na massa de resíduos, ocasionadas pelo peso do próprio resíduo e o peso da camada de solo compactado usado na cobertura dos resíduos. Vale salientar que os pontos de coletas do nível superficial, foram desativados apenas para as coletas, sendo que estes não foram removidos, permanecendo na célula estudada.

A distribuição dos resíduos na célula experimental consiste de resíduos antigos e novos (Figura 1). Os resíduos antigos pertencem ao enchimento no ano de 2011, e devido ao recalque primário e secundário e a ação biológica nos RSU a célula experimental precisou ser retroalimentada (resíduos novos) para a continuação do seu monitoramento. Essa retroalimentação, assim denominada, foi realizada no mês de abril de 2015. Portanto, o monitoramento dos RSU com relação a quantificação dos fungos totais, pH, teor de água, e concentração de oxigênio, para os três níveis (superior, intermediário e inferior) estudados, só irá contemplar o período de pós-retroalimentação até o mês de março de 2016, totalizando 336 dias de monitoramento.

- **Fonte de Microrganismos**

Os RSU utilizados para a obter o extrato para o cultivo dos fungos totais foram provenientes da massa de RSU da célula experimental.

A periodicidade das coletas ocorreu mensalmente, onde por meio de cada nível (superior, intermediário e inferior) foi retirado cerca de 1,5 kg de resíduo, já que este resíduo servia não apenas para a realização da determinação de fungos totais, e sim para todos os ensaios microbiológicos e físico-químicos. Em seguida, o resíduo foi levado para o Laboratório de Geotecnia Ambiental (LGA) pertencente a UFCG, onde foi picotado, pesado e posteriormente diluído em água destilada.

- **Ensaio de Fungos totais**

As análises foram realizadas para quantificar as colônias de fungos totais (leveduriformes e filamentosos). Esta quantificação foi feita com base em todas as recomendações do APHA (2012).

- **Diluição da Amostra**

A amostra de RSU destinada às análises de fungos (10 g) foi diluída em um béquer estéril de capacidade de 100 mL, dotado de 90 mL de água destilada. A amostra foi agitada manualmente com um auxílio de um bastão de vidro, durante cinco minutos, feito isto, a porção líquida da solução foi separada da sólida através de uma peneira plástica e diluída em tubos de ensaios sucessivamente, obtendo-se diluições de 10^{-1} até 10^{-5} .

Este procedimento foi realizado para todos os níveis da célula experimental, ou seja, fizeram-se diluições de 10^{-1} até 10^{-5} para o nível superior, intermediário e inferior. Porém, para o desenvolvimento desta pesquisa foi utilizado somente a diluição 10^{-4} (pertencente a todos os níveis) por ser a mais representativa.

- **Condições de Cultivo**

Os fungos foram cultivados em placas de *Petri* contendo 10 ml do meio de cultura Agar Sabouraud Dextrose com adição do antibiótico cloranfenicol, onde foi inoculado 0,1 mL do resíduo diluído sobre o meio de cultura. A amostra foi espalhada com o auxílio de uma alça de Drigalski e depois as placas foram levadas para a estufa, onde ficaram sob uma temperatura de 25 °C.

Passado o período de incubação (7 dias) fez-se a contagem das Unidades Formadoras de Colônias (UFC) dos fungos totais (Figura 2).

Figura 2 - Fungos totais cultivados em placas de Petri



Fonte: GGA, 2015

▪ Fatores Intervenientes no Crescimento Fúngico

Embora seja um processo natural, a biodegradação dos resíduos é um processo complexo e para que os fungos cresçam de maneira satisfatória, eles necessitam de condições mínimas para sobrevivência e posterior reprodução. Portanto, parâmetros como concentração de oxigênio, pH, umidade, fonte de nutrientes e temperatura ideais são fatores essenciais para o seu desenvolvimento (MELO, 2003).

Em vista disso, neste estudo foram analisados parâmetros como o pH, teor de água e concentração de oxigênio, para assim, verificar suas interferências no comportamento do crescimento dos organismos fúngicos presentes no processo de biodegradação dos RSU na célula em estudo. As metodologias utilizadas para determinação de tais parâmetros estão descritas no Quadro 1. Os ensaios foram realizados *in situ* e no LGA.

Quadro 1 – Parâmetros intervenientes no crescimento fúngico

Parâmetros	Métodos	Local da Análise
pH	APHA, 2012	LGA
Teor de água	Adaptado de WHO, 1979	LGA
Concentração de oxigênio	Equipamento Dräger X-am 7000	<i>In situ</i>

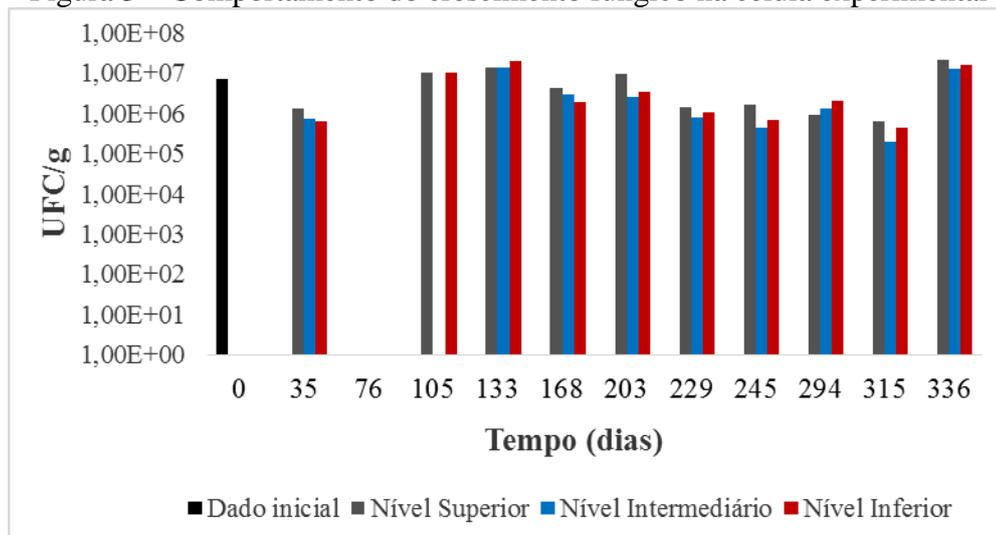
Fonte: Autoria própria, 2016.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

▪ Quantificação dos Fungos Totais

A Figura 3 ilustra o comportamento do crescimento dos fungos totais (colônias filamentosas e leveduriformes) no interior da célula experimental em estudo, variando no tempo e profundidade.

Figura 3 – Comportamento do crescimento fúngico na célula experimental



Fonte: GGA, 2016

Ao analisar a Figura 3 observa-se que o crescimento dos organismos fúngicos variou numa ordem de grandeza de 10^5 a 10^7 UFC/g para os diferentes níveis de profundidade (superior, intermediário e inferior) da célula experimental. Um crescimento bastante similar ao verificado neste estudo, na ordem de 10^5 a 10^6 UFC/g foi encontrado por Meira (2009), onde analisou-se o comportamento do crescimento fungos totais no processo de biodegradação de RSU em escala experimental.

De modo geral, verifica-se que com o passar do tempo houve um decaimento das colônias de fungos, porém não existiu diferença significativa da quantidade de UFC de um nível de profundidade para o outro, beneficiando desta forma o processo da biodegradação dos RSU presentes na célula experimental, visto que de acordo com Almeida (2015), os fungos são organismos essenciais para este processo, pois são capazes de degradarem compostos difíceis de serem degradados por outros microrganismos.

O decaimento da quantidade de UFC fúngicas com o passar do tempo já era esperado, uma vez que os fungos organismos heterotróficos e, em sua grande maioria, aeróbios obrigatórios (UFSC, 2006), e é apenas na fase inicial de disposição dos resíduos, ou seja, durante e logo após a deposição dos resíduos nos aterros sanitários que observa-se condições propícias para o crescimento destes microrganismos (CASTILHOS Jr. et al., 2003). Sendo assim, esse acontecimento pode estar associado ao rápido consumo de oxigênio do meio, fazendo com que ocorra o surgimento dos microrganismos anaeróbios na massa de resíduos (MEIRA, 2009).

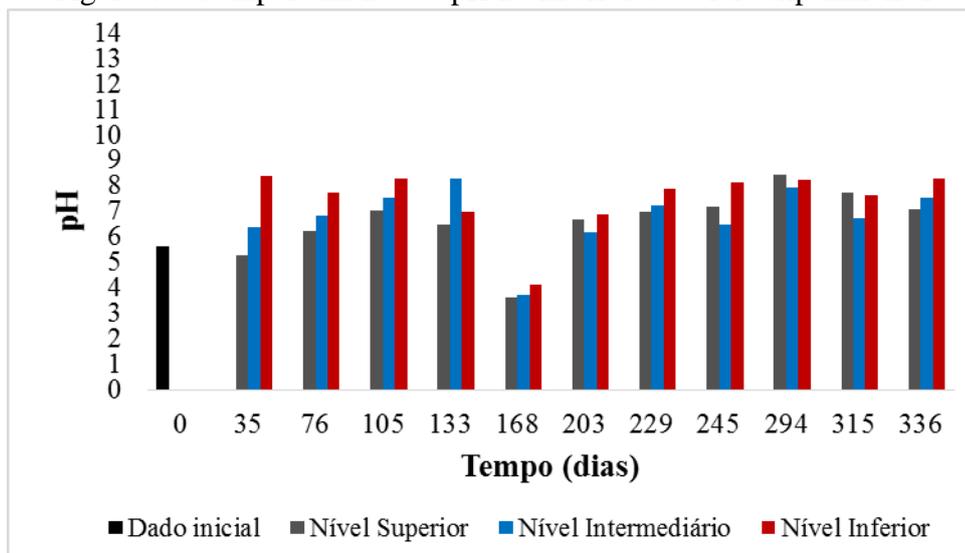
Durante os 315 dias de monitoramento, ainda que tenha ocorrido uma pequena diminuição no comportamento do crescimento dos fungos totais, como já citado e observado

na Figura 3, pode-se inferir que o crescimento destes organismos foi propício em todos os níveis da célula experimental. Isso pode ser explicado pelo fato dos fungos se adequarem a diferentes concentrações de oxigênio livre até fontes de oxigênio combinado, e dependendo das concentrações de oxigênio no meio em que estão inseridos, estes organismos podem utilizar fontes metabólicas como a desnitrificação e amonificação (TAKAYA, 2002).

▪ Potencial Hidrogeniônico (pH)

Um fator determinante para o crescimento e reprodução dos fungos totais é o Potencial Hidrogeniônico (pH). De acordo com Catapreta (2008) este indicador varia conforme o tempo de degradação dos resíduos. Na Figura 4, é apresentado o comportamento do pH dos RSU presentes no interior da célula experimental estudada.

Figura 4 – Comportamento do pH no interior da célula experimental



Fonte: GGA, 2016

Inicialmente, durante os 76 dias de monitoramento, o pH encontrou-se ácido com um valor em torno 5,3 a 6,2 indicando que os resíduos do nível superior, possivelmente, encontravam-se na fase ácida de degradação, fase esta ocorrida devido ao processo de retroalimentação realizado, no qual beneficiou, principalmente este nível, favorecendo dessa forma o crescimento dos organismos fúngicos neste local (Figura 3), visto que esse processo favoreceu a chegada de novos nutrientes, através da matéria orgânica, e também a entrada de oxigênio no meio.

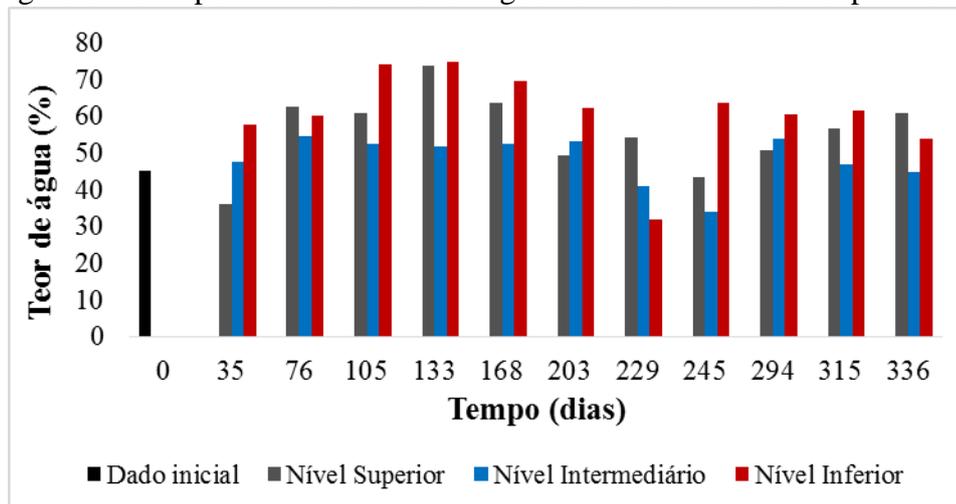
Os fungos são microrganismos que se desenvolvem de forma geral em pH ácido, variando de 5 a 6 em contato com o oxigênio (MADIGAN, MARTINKO e PARKER, 2002).

Ainda que o pH, em grande parte do monitoramento, tenha se apresentado com uma variação entre a neutralidade entrando para o meio básico, este parâmetro não interferiu no crescimento dos fungos (Figura 3) e, possivelmente, não houve interferência no processo de biodegradação dos RSU presentes na célula experimental.

▪ Teor de água

Outro parâmetro importante para o desenvolvimento dos organismos fúngicos é o teor ideal de água presente na massa de resíduos. O comportamento do teor de água no interior da célula experimental estudada para o mesmo período de monitoramento dos demais parâmetros descritos anteriormente, encontra-se ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – Comportamento do teor de água no interior da célula experimental



Fonte: GGA, 2016

Verifica-se na Figura 5 que o teor de água no interior da célula experimental oscilou entre 36-74%. A umidade ideal para que os microrganismos de modo geral sejam favorecidos no processo de degradação biológica varia de 20-40%, segundo Palmisano e Barlaz (1996). Já conforme o U.S Army Corps of Engineers – USACE (2008) esse teor de água deve estar entre uma faixa de 50-60%.

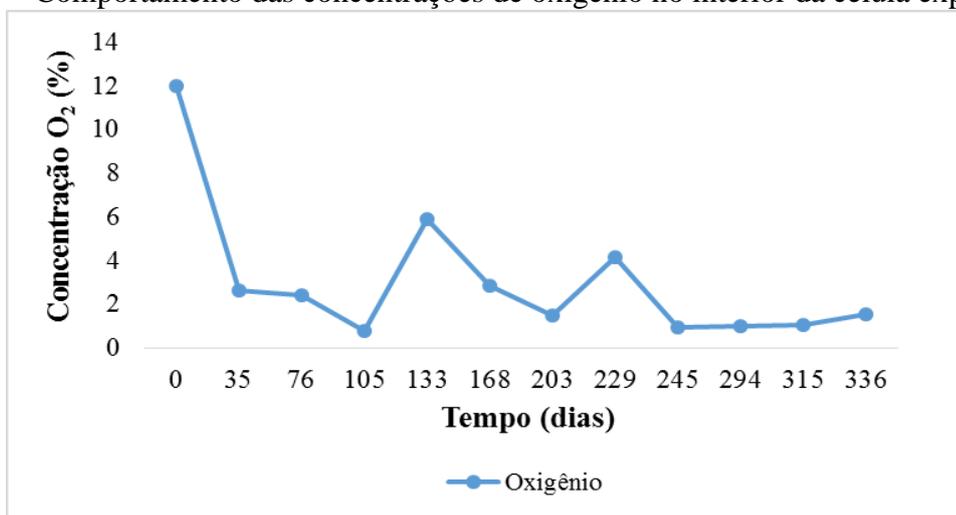
Essa alta percentagem do teor de água encontrado para a célula experimental em estudo, pode ter ocorrido devido ao acúmulo de líquidos no interior da célula (CUNHA, 2009), especialmente, no nível inferior (Figura 5), já que o líquido produzido no processo de biodegradação, conhecido por lixiviado, tende a percolar para as partes inferiores por gravidade. Esse fato favoreceu consideravelmente o crescimento de organismos fúngicos neste nível (Figura 3).

Apesar das altas taxas de teor de água encontradas para a célula em estudo serem divergentes de algumas listadas na literatura, percebeu (Figura 3) que este fator não interferiu no crescimento fúngico contribuindo, dessa forma, para o processo de degradação biológica dos resíduos presentes no interior da célula experimental.

▪ Concentração de oxigênio

A concentração de oxigênio é outro parâmetro essencial para o desenvolvimento dos fungos, visto que são em sua maioria organismos aeróbios. Na Figura 6, mostra-se o comportamento apresentado pela concentração de oxigênio na célula experimental.

Figura 6 – Comportamento das concentrações de oxigênio no interior da célula experimental



Fonte: GGA, 2016

Conforme Tchobanoglous et al. (1993) o oxigênio gasoso, geralmente, só é medido com maior frequência em sistemas de aterro sanitário na fase aeróbia e na fase de maturação, com uma percentagem chegando a 20% de O₂.

Verifica-se no comportamento do oxigênio medido para a célula experimental em estudo (Figura 6), que durante todo o período de monitoramento (0 aos 336 dias) foi verificado a presença de oxigênio no interior da massa de resíduos, variando entre 0,77% a 12%, porém com o passar do tempo houve um decaimento deste parâmetro, fato já esperado, um vez que, o aterro sanitário na maior parte do tempo funciona como um reator anaeróbio. Os baixos níveis de concentração do gás O₂ na célula experimental podem favorecer a biodegradação por via anaeróbia, melhorar a qualidade do biogás para uso como fonte de energia e favorecer a produção do gás CH₄. No caso de aterros sanitários, as concentrações de oxigênio de até 5% são aceitáveis para projetos de aproveitamento do biogás de aterro em

Usinas de Gás e em Usina de Geração. As concentrações de O₂ em 26 poços de monitoramento localizado no aterro sanitário Bandeirantes/SP obtiveram níveis máximos de 10% (SILVA e CAMPOS, 2008).

No início, aos 133 e 229 dias de monitoramento, constatou-se os maiores picos encontrados para a concentração de oxigênio (Figura 6) no interior da massa de resíduos, o que contribuiu favoravelmente para o crescimento dos organismos fúngicos, como observado no mesmo tempo de monitoramento na Figura 3. Essa entrada de oxigênio pode ter ocorrido por meio das fissuras encontradas na camada de cobertura dos resíduos ou pelos pontos de coletas, beneficiando dessa forma o desenvolvimento desses microrganismos.

Nos dias 105, 245 a 315 do monitoramento, observou-se os mais baixos teores de oxigênio no interior da célula, porém, essas porcentagens baixas não influenciaram no crescimento dos fungos neste mesmo período. Segundo Taniwaki (1996), Filtenborg et al. (1996) e Medina et al. (2006) os fungos podem crescer em ambientes que outros microrganismos são incapazes de colonizar devido a capacidade que estes organismos têm de utilizar os mais diversificados substratos para o seu crescimento e desenvolvimento.

Dessa maneira, pode-se dizer que independentemente dos baixos teores de oxigênio obtidos, estes valores não interferiram no crescimento dos fungos totais, como também no processo de degradação biológica dos RSU, visto que, estes microrganismos são adaptados para se desenvolverem em diversos ambientes, inclusive, com flutuações significativas nas concentrações de oxigênio.

CONCLUSÃO

- O crescimento dos organismos fúngicos foi satisfatório em todos os níveis (superior, intermediário e inferior), porém houve uma maior propagação desses organismos no nível superior devido ao processo de retroalimentação que ocorreu na célula experimental.
- O pH inicialmente apresentou-se ácido o que contribuiu para a favorecimento do crescimento dos fungos neste período, mas com o passar do tempo tendeu a neutralidade entrando para a basicidade, o que não interferiu no crescimento dos fungos e nem no processo de biodegradação.
- Apesar das porcentagens do teor de água apresentarem divergências de alguns valores encontrados na literatura, este fato não interferiu no crescimento dos fungos totais, inclusive, desenvolveram-se de maneira satisfatória.

- O comportamento do oxigênio no interior da célula experimental decaiu ao longo do tempo, e mesmo nos dias em que se obteve as mais baixas concentrações de O₂ o crescimento dos fungos totais apresentou-se favorável.
- De modo geral, os parâmetros intervenientes não interferiram no crescimento dos fungos totais, contribuindo assim, para o processo biodegradativo dos RSU.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. V. A. **Identificação de fungos filamentosos presentes em um biorreator de resíduos sólidos urbanos.** 2015. 65 fls. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Centro de Tecnologia em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 22 edition. Washington: APHA, 2012. 1496 p.

CASTILHOS Jr, A. B. et al. **Principais processos de degradação de resíduos sólidos urbanos. Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte.** Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB, 2003.

CATAPRETA, C. A. A. **Comportamento de um aterro sanitário experimental: Avaliação da influência do projeto, construção e operação.** 2008. 316 fls. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio ambiente e Recursos hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

CUNHA, E. R. **Avaliação do processo de bioestabilização de resíduos sólidos urbanos em Lisímetro de campo.** 2009. 97 fls. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Civil), Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

FILTENBORG, O. et al. Moulds and food spoilage. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 33, n. 1, p. 85-102, 1996.

FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. Polímeros biodegradáveis: Uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p. 811-816, 2006.

MADIGAN, M. T.; MARTINKO, J. M. PARKER, J. **Brock biology of microorganisms.** 10 ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002. p. 1088.

MEDINA, A. et al. Survey of the mycobiota of Spanish malting barley and evaluation of the mycotoxin producing potential of species of *Alternaria*, *Aspergillus* and *Fusarium*. **International Journal Food Microbiology**, Amsterdam, v. 108, n. 2, p. 196-203, 2006.

MEIRA, R. C. Influência de fungos e bactérias aeróbias totais na biodegradação de resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande–PB em escala experimental. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 6, n. 3, p. 333-349, 2009.

MELO, M. C. **Uma análise de recalques associada à biodegradação no aterro de resíduos sólidos da Muribeca**. 2003. 141fls. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Civil), Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

MONTEIRO, V. E. D. et al. Estudo do comportamento de RSU em uma célula experimental e suas correlações com aspectos microbiológicos, físicos e químicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, n. 3, p. 223-230, 2006.

PALMISANO, A. C.; BARLAZ, M. A. **Microbiology of Solid Waste**. 1996. p. 224.

SANTAELLA, S. T. et al. Remoção de fenol em reatores biológicos com fungos (RBF) utilizando meio suporte e água residuária sintética. In: **23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (CBESA)**. Campo Grande/MS. ABES, 2005. 5p.

SILVA, T. N.; CAMPOS, L. M. S. Avaliação da produção e qualidade do gás de aterro para energia no aterro sanitário dos Bandeirantes-SP. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 88-96, 2008.

TANIWAKI, M. H. Meios de cultura para contagem de fungos em alimentos. **Boletim SBCTA**, Campinas-SP, v. 30, n. 2, p. 132-141, 1996.

TAKAYA, N. Dissimilatory nitrate reduction metabolisms and their control in fungi. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 94, n. 6, p. 506-510, 2002.

TCHOBANOGLIOUS, G. et al. **Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues**. Part V. Closure, Restoration and Rehabilitation of Landfills. Ed. McGraw-Hill. 1993.

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). **Fungos**. Disponível em: <http://enq.ufsc.br/labs/probio/disc_eng_bioq/trabalhos_pos2003/const_microorg/fungos.htm>. Acesso em 19 de abr. 2016.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE). **Landfill off-gas collection and treatment systems**. 2008.

WHO, International Reference Center for Wastes Disposal. **Methods of analysis of sewage sludge solid wastes and compost**. Switzerland. 1979.