

ANÁLISE DE MAPAS DE CALOR DAS CONCENTRAÇÕES DE GASES GERADOS EM ATERRO SANITÁRIO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Francisco Auriberto Ferreira Marques Junior ¹

José Lucas de Souza Abreu ²

Ligia Belieiro Malvezzi ³

Amanda Paiva Farias ⁴

Libânia da Silva Ribeiro ⁵

RESUMO

O biogás, gerado pela biodegradação da fração orgânica dos resíduos sólidos em aterros sanitários, apresenta em sua composição diversos gases, como o Metano (CH₄), Dióxido de Carbono (CO₂), Oxigênio (O₂) e o Gás Sulfídrico (H₂S). O objetivo deste trabalho consistiu na elaboração de mapas de calor resultantes dos gases gerados em uma célula de resíduos de um aterro sanitário no Semiárido Brasileiro para promover discussões acerca da dinâmica desses gases. Para a localização dos drenos verticais de gases foi utilizado um GPS de navegação Garmin 64S e para a obtenção dos dados de concentrações de biogás foi utilizado um detector portátil de gases Dräger modelo X-am 7000. Os dados foram analisados por meio do *software* QGIS 3.2 com uso da ferramenta *Heartmap*. As maiores concentrações de CH₄ obtidas (62%) são indicativas da fase metanogênica de biodegradação, o gás CO₂ é gerado consideravelmente em praticamente todas as fases, os valores de 15% de O₂ obtidos são possivelmente uma interferência do ar atmosférico e os valores de 2200 ppm de H₂S avaliados constituem um risco à saúde dos operadores do aterro. A partir da análise desses mapas no decorrer do tempo, consegue-se levantar em quais locais ocorrem maiores gerações de metano para otimizar processos de reaproveitamento energético deste gás, e em quais locais há maior geração de outros gases que são possíveis impurezas ao reaproveitamento. A tendência e o padrão espacial destas concentrações também pode ser um instrumento de controle e monitoramento da geração de biogás em aterros sanitários.

Palavras-chave: Biogás, Resíduos sólidos, Sistemas de informação geográfica, Reaproveitamento energético.

INTRODUÇÃO

A biodegradação da fração orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em aterros sanitários gera dois subprodutos: os líquidos lixiviados e o biogás. Esse último apresenta em sua composição diversos gases, como o metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), oxigênio

¹ Mestrando do Curso de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, auribertofmj@gmail.com;

² Mestrando do Curso de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, jo.lucasabreu@gmail.com;

³ Mestranda do Curso de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, ligiamalvezzi@gmail.com;

⁴ Doutoranda do Curso de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, amandapaiva.farias@gmail.com;

⁵ Professora orientadora: Doutora em Ciências e Engenharia dos Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, lybyribeiro@yahoo.com.br.

(O₂), hidrogênio (H₂), monóxido de carbono (CO), amônia (NH₃) e gás sulfídrico (H₂S), em que o gás metano e o dióxido de carbono, presentes em maiores quantidades, são apontados como os principais gases causadores do efeito estufa (TCHOBANOGLOUS, THIESEN e VIGIL, 1993). Dessa forma, o monitoramento do biogás gerado em aterros sanitários se faz necessário em função do potencial poluidor dos gases que o compõem, principalmente do CH₄ que é altamente impactante à atmosfera por ser considerado cerca de 21 vezes mais poluente do que o CO₂ como um gás do efeito estufa (ICLEI, 2009).

O Semiárido Brasileiro é caracterizado por apresentar baixos índices pluviométricos anuais e irregularidade de chuvas, além de altas temperaturas atmosféricas que influenciam em uma maior evaporação aos lagos, açudes, reservatórios e evapotranspiração das plantas (SOUSA MEDEIROS, 2011). Essas características da região podem influenciar no teor de umidade das células de resíduos em aterros sanitários, o que reflete diretamente na capacidade de geração de gases provenientes do processo de biodegradação.

A transformação do material orgânico, no interior das células de aterros sanitários, em material bioestabilizado é basicamente dividida em cinco fases segundo a literatura técnica (TCHOBANOGLOUS, THIESEN e VIGIL, 1993; VAN ELK, 2007): Ajuste Inicial ou Fase Aeróbica, Transição ou Fase Acetogênica, Fase Ácida ou Acidogênica, Fase Metanogênica e Fase Final ou de Maturação.

A maioria dos estudos consideram que não há geração significativa de biogás nos primeiros dois anos em que os resíduos estão aterrados, mas no Semiárido Brasileiro os aterros apresentam condições diferentes que influenciam numa significativa geração de biogás nesse período inicial de tempo, atingindo até a fase metanogênica que é caracterizada pelas maiores gerações de gás metano, como apresentado em estudos de Alcântara e Jucá (2010), que analisaram uma célula experimental construída no Aterro da Muribeca em Recife-PE e verificaram que a partir do quinto mês de aterramento já houve geração de CH₄, atingindo até 60% de concentração no primeiro ano.

Diante disso, no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), julga-se importante estudar a dinâmica da geração desses gases em aterros, principalmente do metano por apresentar potencial energético e que pode ser reaproveitado para a geração de energia elétrica, desde que seja aplicado um tratamento eficiente para a sua purificação no biogás, ou seja, eliminando os outros gases que são considerados impurezas.

Dentro dessa perspectiva da necessidade de monitorar o biogás gerado em aterros sanitários, é imprescindível conhecer os pontos de maior geração desses gases nas células de

disposição de resíduos sólidos para promover estratégias mais eficientes de tratamento desses gases ou remediação do impacto destes no meio ambiente, bem como pode proporcionar o conhecimento da fase de degradação a que os resíduos estão submetidos nas células, para viabilizar estudos de implantação de reaproveitamento energético do CH₄.

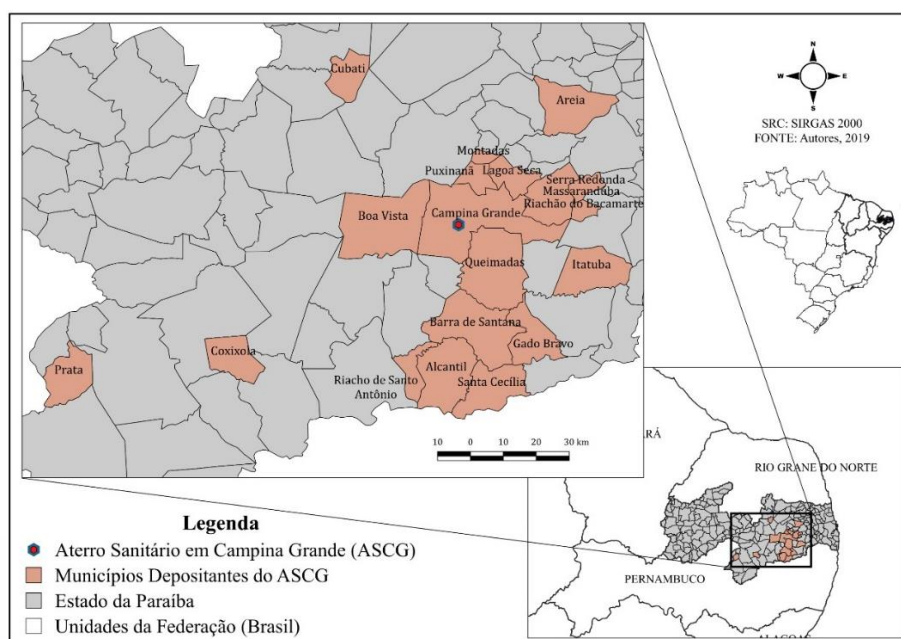
O presente trabalho teve como objetivo a elaboração de mapas de calor das concentrações dos gases CH₄, CO₂, O₂ e H₂S espacializados sobre uma célula de resíduos sólidos de um aterro sanitário localizado no Semiárido Brasileiro, para promover discussões acerca da dinâmica desses gases na célula, bem como analisar o impacto que o lançamento desses pode causar no meio ambiente e de que formas ele pode ser minimizado.

METODOLOGIA

Área de estudo

O presente estudo foi realizado no Aterro Sanitário em Campina Grande (ASCG), localizado no distrito de Catolé de Boa Vista, no município de Campina Grande – PB, como pode ser observado na Figura 1. Esse aterro foi projetado para receber diariamente 350 toneladas de resíduos, mas, atualmente, conforme informações obtidas junto à Ecosolo Gestão Ambiental de Resíduos Ltda, empresa que é responsável por sua operação, são depositados em torno de 600 ton.dia⁻¹ de RSU no Aterro, proveniente de 19 municípios paraibanos.

Figura 1: Localização do ASCG e municípios que depositam RSU no Aterro



Fonte: Autor (2019).

Os resíduos sólidos que chegam ao ASCG estão sendo dispostos em uma célula com área total de 210 m x 210 m e altura de 25 m. Essa célula conta com Drenos Verticais de gases (DV) os quais são estruturas responsáveis por capturar o biogás gerado em seu interior e conduzi-lo à atmosfera. Esses drenos são geralmente compostos por manilhas de concreto, dotadas de orifícios para possibilitar a entrada do biogás ao longo de seu comprimento, revestidas por britas e amarradas por uma malha de ferro.

Segundo Iclei (2009), geralmente um raio de influência de um DV é de 30 a 40 m, sendo necessário, em média, 10 drenos por hectare em uma célula de resíduos. Estudos de Moreira (2018) no ASCG levantaram que à cada 1 ha de área, 9 DVs são suficientes para atuarem eficientemente no transporte de biogás para a atmosfera.

Assim, o ASCG possui ao todo 49 drenos verticais, dos quais 23 são monitorados atualmente, pelo Grupo de Geotecnia Ambiental (GGA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), que é o grupo responsável pelo monitoramento geoambiental do aterro.

Para o presente trabalho, serão analisados os dados de concentração do biogás obtidos nesses 23 drenos entre os meses de junho e dezembro de 2018.

Coleta e Operação dos dados

Para a coleta dos dados em campo foi utilizado um GPS de navegação Garmin 64S para captura da localização dos pontos que representam os 23 DVs, os quais são monitorados na célula do ASCG, bem como 4 pontos situados nas extremidades da célula para gerar o seu contorno. Os dados de concentrações de biogás nos drenos foram adquiridos por meio de um detector portátil de gases, Dräger modelo X-am 7000, para os gases CH₄, CO₂, O₂ e H₂S.

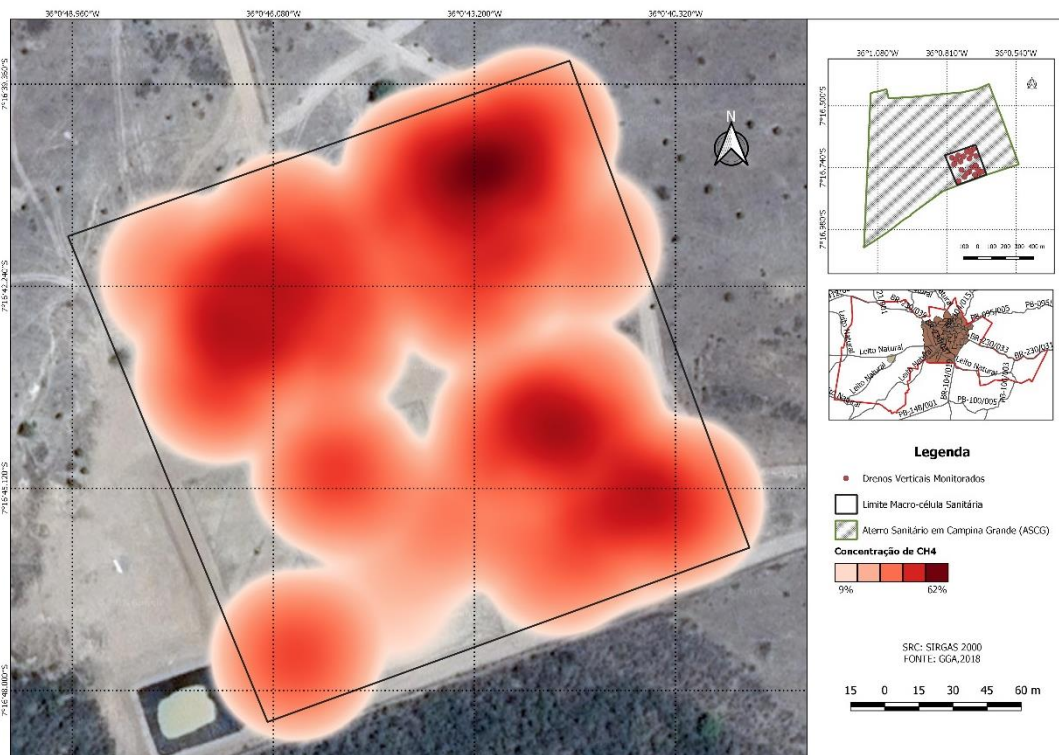
Os dados obtidos foram analisados por meio do *software* QGIS 3.2, que é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de Código Aberto licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU. Por meio da ferramenta *Heatmap* foram gerados mapas de calor, com a adoção de um raio de influência de 100 m, a partir dos 23 drenos monitorados, sendo esses representados pelas cores: vermelha para o gás metano, azul para o dióxido de carbono, verde para o oxigênio e rosa para o gás sulfídrico, permitindo, assim, a visualização da distribuição das concentrações destes gases sobre a célula de resíduos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta o mapa de calor das concentrações de CH_4 com valores variando de 9 a 62%. Observa-se que houve uma maior geração de metano na extremidade superior direita do mapa, que representa a área da célula em que foi finalizada a disposição de resíduos e a cobertura final com a camada de solo compactado, assim como em todos os pontos de maiores concentrações, representados na imagem por um tom mais escuro de vermelho. Isto pode ser um indicativo da fase metanogênica da degradação dos resíduos, sendo esta, a fase caracterizada pela ocorrência de maior geração de metano dentre as fases de biodegradação de resíduos sólidos citadas anteriormente.

Ressalta-se que essa fase biodegradativa apresenta gerações de biogás com concentração de metano na faixa de 60%, que pode se estender de dois anos até décadas, se não sofrer grandes perturbações no equilíbrio de alguns fatores intervenientes na geração desse gás, tais como: a umidade e a cobertura da massa de resíduos (VAN ELK, 2007). Portanto, é a fase mais indicada para a realização do aproveitamento energético do CH_4 .

Figura 2: Mapa de calor do gás CH_4 sobre a célula do ASCG

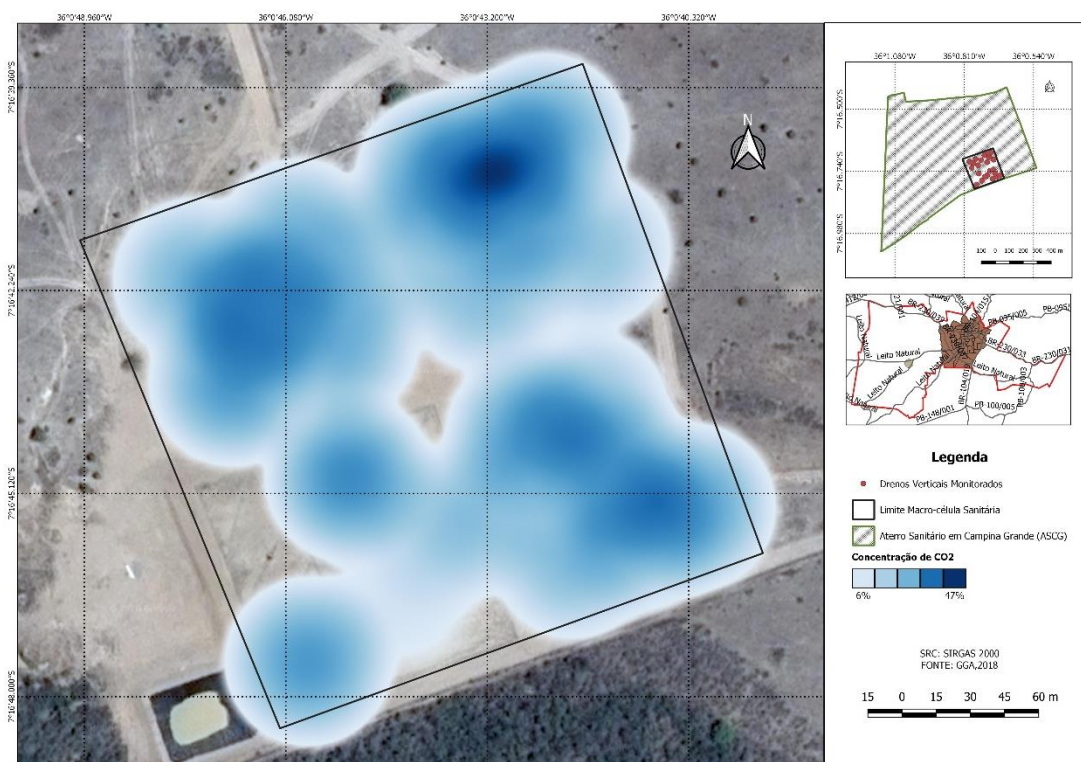


Fonte: Autor (2019).

Atualmente, a disposição de resíduos está sendo realizada na área central da célula, na qual apresenta menor concentração de CH₄. Observa-se também que em basicamente toda a área da célula ocorre uma boa geração de metano, o que constitui um indicativo de potencial de aproveitamento energético desse gás.

A Figura 3 apresenta o mapa de calor para os dados de dióxido de carbono.

Figura 3: Mapa de calor do gás CO₂ sobre a célula do ASCG



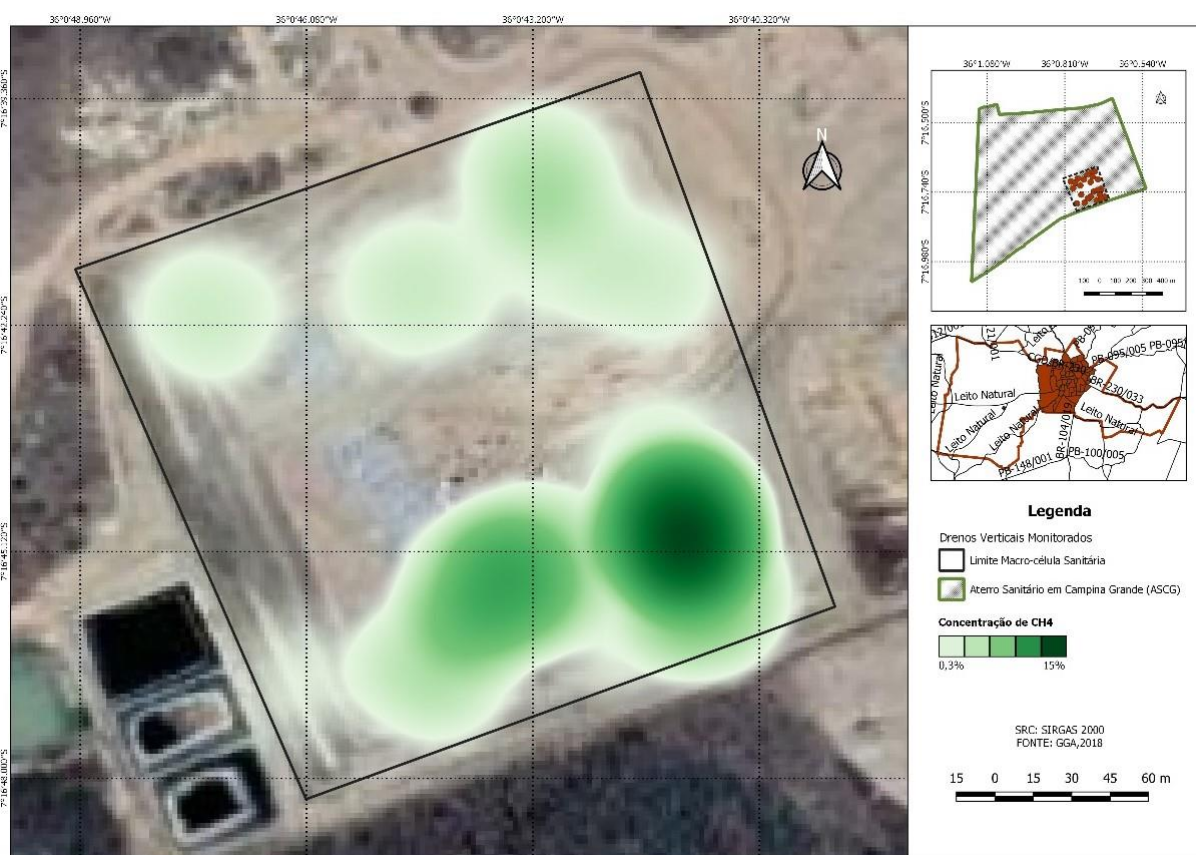
Fonte: Autor (2019).

Foram obtidos valores de CO₂ variando de 6 a 47%. As maiores concentrações verificadas, indicadas por tons mais fortes de azul na Figura 3, foram nas mesmas áreas de maior concentração do CH₄, o que é característico também da fase metanogênica. Como o CO₂ é um gás gerado em todas as fases de biodegradação dos resíduos, sejam em maior ou menores quantidades, observa-se que esse gás foi encontrado em concentrações relevantes em basicamente todos os drenos analisados. Os picos de concentração desse gás são possíveis indicativos da fase acidogênica de biodegradação, na qual pode-se observar valores de até 90% de CO₂, segundo van Elk (2007).

Quanto ao gás oxigênio, observando as condições anaeróbicas a que os resíduos são submetidos, esse não deve ser verificado em elevadas concentrações no interior das células,

visto que, não constitui em um gás gerado no processo biodegradativo dos resíduos. Assim, como pode ser verificado na Figura 4, são baixos os valores obtidos para esse gás, que variou entre 0,3 e 15%. Pode-se observar que as maiores concentrações de O_2 estão localizadas na extremidade inferior direita do mapa, com tons mais fortes de verde. Destaca-se que, como as medições de concentração de gases foram realizadas nos DVs, é possível que haja interferência por entrada de ar atmosférico, pois esses drenos encontram-se com suas extremidades abertas à atmosfera.

Figura 4: Mapa de calor do gás O_2 sobre a célula do ASCG



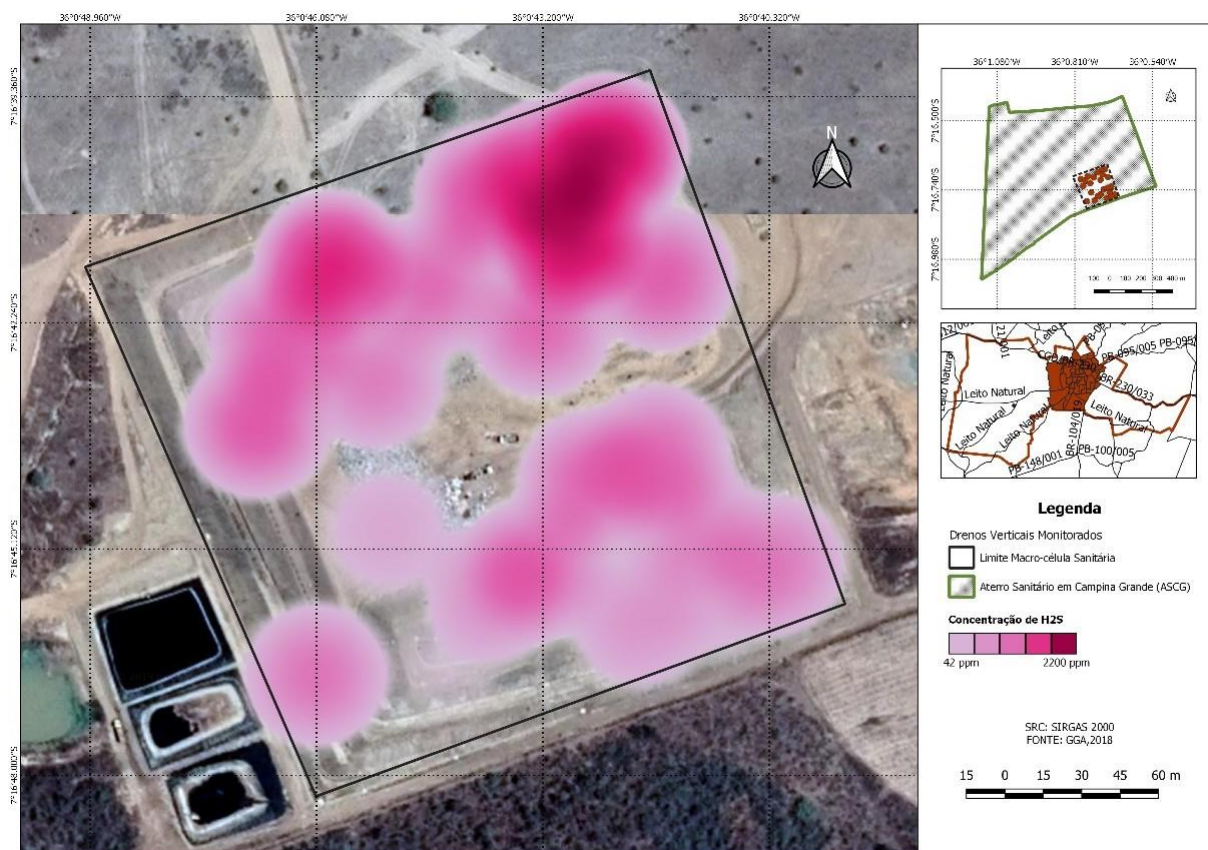
Fonte: Autor (2019).

Vale ressaltar que o O_2 pode entrar nas células de resíduos pelos drenos verticais ou por fissuras nas camadas de cobertura, de solo compactado, ocasionadas pela infiltração de águas pluviais que abre caminhos preferenciais para a entrada de ar. Além disso, suas concentrações são elevadas na fase inicial de degradação, cuja fase é denominada de aeróbia, mas é relativamente curta, pois diariamente os resíduos são cobertos com camadas de solo.

Em casos de implantação de reaproveitamento energético do CH_4 , a entrada de O_2 deve ser evitada, pois promove um desequilíbrio na atuação das *arqueobactérias* metanogênicas, as quais são responsáveis pela geração do CH_4 .

Por último, foi realizado o mapa de calor das concentrações de gás sulfídrico, como pode ser observado na Figura 5.

Figura 5: Mapa de calor do gás H_2S sobre a célula do ASCG



Fonte: Autor (2019).

O gás sulfídrico é um dos subprodutos ácidos gerados, em maior quantidade, na fase acidogênica de biodegradação. Constitui um gás representativo das impurezas, presentes no biogás de aterros sanitários, quando se quer promover um reaproveitamento energético do metano. As emissões de H_2S afetam a qualidade de vida da população por meio de estresses psicológicos e doenças respiratórias e provocam a poluição do ar na forma de odores fétidos (GUERRA, 2014).

O H_2S é um gás altamente tóxico e o levantamento das concentrações geradas no aterro se faz importante para analisar o impacto ambiental gerado pela liberação desse gás na atmosfera, principalmente, para os trabalhadores que operam o aterro, os quais são afetados

diretamente. Segundo Bonatto (2013), após a inalação, o gás reage com enzimas na corrente sanguínea inibindo a respiração celular e resultando em paralisia pulmonar súbita, colapso ou morte.

No Brasil, o limite de exposição ao H₂S para os trabalhadores de atividades insalubres é determinado pela Norma Regulamentadora NR-15 do Ministério do Trabalho (MTB, 1978), que estabelece o limite de tolerância de exposição para jornadas de trabalho de até 48h semanais de 8 ppm.

Foram observadas concentrações que variaram de 42 a 2200 ppm de H₂S no ASCG, sendo verificada uma maior geração na extremidade superior direita do mapa, representado por tons mais fortes de rosa. Apesar da alta exposição apresentada aos trabalhadores, esses não são tão afetados, pois os gases são emitidos pelos DVs diretamente à atmosfera e são imediatamente diluídos no ar atmosférico pelos ventos da região. Ainda assim, é importante que os trabalhadores utilizem os Equipamentos de Proteção Individuais (EPIs), como máscara de gases, para evitar as inalações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio do conhecimento da localização das maiores gerações de cada gás, nas células de aterros sanitários, é possível promover estratégias mais eficientes para o tratamento desses gases, bem como indicar a possível fase de degradação a que os resíduos estão submetidos nas células.

Por meio da observação dos mapas de calor, gerados pela espacialização das concentrações dos gases na célula de resíduos, observou-se que há uma tendência de ser maior a geração em sua extremidade superior direita para os gases CH₄, CO₂ e H₂S, nas áreas cuja operação já foi encerrada, ou seja, apresentam fases mais avançadas de degradação.

Um fator importante que pode ser levantado por meio da realização deste trabalho é que, a partir da análise desses mapas no decorrer do tempo, com a utilização de concentrações medidas constantemente no monitoramento mensal do ASCG, consegue-se levantar em quais locais da célula ocorrem maiores gerações de metano, para otimizar processos de reaproveitamento energético, e em quais locais há maior geração de outros gases, como o gás sulfídrico, que constitui uma impureza para o reaproveitamento do metano e, portanto, nesses locais deverá ser aplicado técnicas específicas e eficientes de purificação do biogás.

Portanto, a tendência e o padrão espacial destas concentrações também pode ser um instrumento de controle e monitoramento ambiental em aterros sanitários.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, P. B.; JUCÁ, J. F. T. Recalque em aterros: influência da composição dos resíduos sólidos urbanos, do clima e da biodegradação. **Geotecnia**. N.º 118. 2010 – pág. 15-42.

BONATTO, I. C. **Remoção do H₂S através de adsorção por carvão ativado**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

GUERRA, T. de F. M. F. **Determinação da eficiência na remoção de gás odorante em sistema de aeração com argila**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Química). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014, 57p.

ICLEI-BRASIL – Governos Locais pela Sustentabilidade. **Manual para aproveitamento do biogás. v. 1 – Aterros sanitários**. São Paulo: Escritório de Projetos no Brasil, Secretariado para América Latina e Caribe (LACS), 2009, 80p.

MINISTÉRIO DO TRABALHO (MTB). Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978. **Norma Regulamentadora 15: Atividades e operações insalubres**. 82p.

MOREIRA, F. G. dos S. **Emissões fugitivas de biogás em células de aterro sanitário**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Campina Grande, 2018, 90 p.

SOUSA MEDEIROS, S. de. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, 2011.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THIESEN, H.; VIGIL, S. A. **Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues**. New York: New York: McGraw – Hill International Editions, 1993, 987p.

VAN ELK, A. G. H. P. **Mecanismos de desenvolvimento limpo aplicado a resíduos sólidos: Redução de emissões na disposição final**. Rio de Janeiro: IBAM, 2007. 40 p.