

## ***Diagnóstico do severo entupimento do sistema de drenagem de lixiviados do aterro sanitário de Brasília***

O sistema de drenagem de lixiviado de aterros sanitários tem como principal finalidade minimizar o risco de contaminação ambiental. Uma vez que esse sistema se localiza abaixo de camadas de resíduos heterogêneos, seu entupimento pode ocorrer com o passar do tempo especialmente quando concepções não adequadas são utilizadas. Com o objetivo de determinar as causas do severo entupimento observado no sistema de drenagem de lixiviado do aterro sanitário de Brasília, foram realizadas inspeções in loco; amplo levantamento bibliográfico; avaliados o projeto executivo e o As Built do aterro; analisados os aspectos qualitativo e quantitativo dos resíduos, do lixiviado, do solo de cobertura e do próprio material de entupimento. Os resultados indicaram que a formação de grande quantidade de precipitados de cálcio foi o fator determinante para o entupimento do sistema. O uso de pedras calcárias não lavadas e com elevado teor de carbonato de cálcio (cerca de 50%) resultou na liberação de quantidades significativas de cátions de cálcio no lixiviado, durante a fase acidogênica da digestão da fração orgânica dos resíduos. Posteriormente, na fase metanogênica, esses cátions precipitaram devido ao aumento do pH do lixiviado decorrente da fermentação dos ácidos graxos voláteis. Essa reação foi de tal magnitude que resultou inclusive em incrustações nas tubulações de recalque do lixiviado. Por esse motivo, o uso de pedras calcárias não lavadas para o preenchimento do sistema de drenagem de lixiviado não é recomendado por algumas agências reguladoras internacionais.

**Palavras-chave:** Entupimento de drenos de lixiviados; Pedra calcária; Aterro sanitário.

## ***Diagnosis of the severe clogging of the leach drainage system in Brasília's landfill***

The landfill leachate drainage system has as its main purpose to minimize the risk of environmental contamination. Once this system is located below layers of heterogeneous waste, its clogging can occur over time, especially when inadequate conceptions are used. In order to determine the causes of the severe clogging observed in the leachate drainage system of Brasília's landfill, in loco inspections were carried out; ample bibliographic survey was made; the executive project and the As Built of the landfill were evaluated; the qualitative and quantitative aspects of the waste, the leachate, the covering soil and of the clogging material itself were analyzed. The results indicated that the formation of large amounts of calcium precipitates was the determining factor for the system clog. The use of unwashed limestones with a high content of calcium carbonate (around 50%) resulted in the release of significant amounts of calcium cations in the leachate, during the acidogenic phase of the digestion of the waste's organic fraction. Subsequently, in the methanogenic phase, these cations precipitated due to the pH increase of the leachate, caused by the fermentation of volatile fatty acids. This reaction was of such magnitude that it even resulted in incrustations in the leachate's discharge pipes. For this reason, the use of unwashed limestones to fill the leachate drainage system is not recommended by some international regulatory agencies.

**Keywords:** Clogging of leachate drains; Limestone; Landfill.

Topic: **Engenharia Sanitária**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Received: **02/02/2022**

Approved: **24/02/2022**

**Simone Costa Pfeiffer**   
Universidade Federal de Goiás, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/5657584936394145>  
<http://orcid.org/0000-0003-3783-5899>  
[pfeiffer@ufg.br](mailto:pfeiffer@ufg.br)

**Eraldo Henriques de Carvalho**   
Universidade Federal de Goiás, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/9604679266344482>  
<http://orcid.org/0000-0002-7366-2609>  
[carvalhohc@ufg.br](mailto:carvalhohc@ufg.br)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.002.0008

### **Referencing this:**

PFEIFFER, S. C.; CARVALHO, E. H.. Diagnóstico do severo entupimento do sistema de drenagem de lixiviados do aterro sanitário de Brasília. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.13, n.2, p.81-89, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.002.0008>

## INTRODUÇÃO

Os aterros sanitários verticalizados têm sido mundialmente utilizados em municípios de médio a grande porte devido, principalmente, ao melhor aproveitamento da área para disposição dos resíduos sólidos. No entanto, seu projeto, construção, operação e monitoração exigem critérios mais rigorosos a fim de assegurar a estabilidade do maciço de resíduos, evitando eventuais acidentes que possam causar danos ambientais e a vidas humanas.

Dentre os elementos constituintes de um aterro sanitário, o sistema de drenagem de lixiviado desempenha importante papel para a proteção do meio ambiente e a garantia da estabilidade do maciço. No entanto, esse sistema é susceptível a entupimentos que podem resultar no acúmulo de líquidos na base do aterro, comprometendo o cumprimento desses requisitos técnicos e ambientais.

A operação do Aterro Sanitário de Brasília teve início em 17 de janeiro de 2017 e, apenas dois anos após sua inauguração, foram detectados problemas no sistema de drenagem de lixiviado. Observações *in loco* indicaram a presença de incrustações em quantidades muito significativas no sistema, comprometendo sua funcionalidade. Considerando os riscos envolvidos, o presente trabalho teve por objetivo diagnosticar as causas do severo entupimento ocorrido no sistema de drenagem de lixiviado do Aterro Sanitário de Brasília. Para tal, foram aventadas hipóteses a serem investigadas.

## METODOLOGIA

O trabalho foi realizado no Aterro Sanitário de Brasília, localizado na Rodovia DF 180, km 16, Bairro Samambaia Norte. O aterro está licenciado para receber os resíduos Classe II A gerados em todo o Distrito Federal. Em fevereiro de 2019 foi feita a primeira inspeção local, acompanhada pela equipe técnica do aterro, para a obtenção de informações relativas à magnitude e extensão do entupimento no sistema de drenagem do lixiviado.

De posse desses dados preliminares, foi realizada ampla revisão bibliográfica por meio de consultas às bases de dados disponíveis em *sites* de interesse tais como o Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por meio de palavras-chave. Foram procurados trabalhos técnicos nacionais e internacionais, além de normativas de órgãos ambientais de diferentes continentes. Posteriormente, foram aventadas hipóteses para o fenômeno (Quadro 1).

**Quadro 1:** Formulação de hipóteses para as causas do entupimento observado no sistema de drenagem do Aterro Sanitário de Brasília.

Hipóteses	Aspectos envolvidos	Possíveis consequências
Problemas no projeto do sistema de drenagem de lixiviado	Baixa declividade Subdimensionamento da seção transversal e/ou distância inadequada entre os drenos principais e os secundários Especificação inadequada do material de enchimento dos drenos (material reativo e não uniforme, por exemplo)	Sedimentação de sólidos e ineficiência da autolimpeza Redução da capacidade de transporte do lixiviado com consequente elevação do nível do mesmo na base do aterro Formação de precipitados inorgânicos, biofilmes e/ou sedimentação de finos resultando na obstrução da camada drenante
Execução do sistema em desacordo com as especificações do projeto	Sistema em desacordo com as orientações técnicas propostas no projeto	Ineficiência do sistema de drenagem do lixiviado
Problemas operacionais	Falhas no controle dos resíduos recebidos no aterro	Recebimento, em quantidades significativas, de

Hipóteses	Aspectos envolvidos	Possíveis consequências
	Utilização inadequada de material de estruturação dos acessos internos ao maciço	resíduos com composição que favoreça a formação de incrustações ou entupimento Lixiviação de finos causando entupimentos ou incrustações devido à reação com o lixiviado

Para avaliar a hipótese do entupimento estar relacionado às falhas na concepção e/ou na construção do sistema de drenagem de lixiviados, foram analisados o projeto executivo e o “As built” do empreendimento, fornecidos pelo Consórcio Samambaia Ambiental (CSA), empresa responsável pela operação do aterro. Os aspectos de projeto foram comparados ao estabelecido na norma técnica NBR 13.896 (ABNT, 1997) e na literatura técnica nacional (VILHENA, 2018). Apenas como avaliação complementar, buscou-se também traçar um comparativo com as especificações de outros países mais desenvolvidos para a concepção do tipo “espinha de peixe” (EPA, 2016; BCME, 2016; EPA, 2000).

Para avaliar a possibilidade do entupimento ser fruto da composição dos resíduos dispostos no aterro, foram comparados os tipos de resíduos considerados pelo projetista com os estabelecidos pelo Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal (SLU) no termo de referência da construção do aterro e também com os autorizados nas licenças ambientais emitidas pelo Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal (IBRAM). Também foram avaliados os dados quantitativos de todos os resíduos recebidos no local, disponibilizados pelo CSA, e as análises químicas dos resíduos de responsabilidade do SLU e da Companhia de Água e Esgoto de Brasília (CAESB), fornecidas pelos respectivos geradores.

Considerando que a calha Parshall foi implantada apenas em maio de 2019, para o cálculo das vazões de lixiviado nos meses anteriores foram utilizados os volumes mensais transportados, por meio de caminhões, para as estações de tratamento de esgoto da CAESB.

O laudo da composição química do lixiviado, realizado em laboratório acreditado pelo INMETRO e disponibilizado pelo CSA, foi comparado com valores disponíveis na literatura técnica para aterros sanitários similares, a fim de subsidiar a hipótese dos entupimentos serem fruto da disposição de resíduos atípicos.

Para identificar qual dos mecanismos de entupimento relatados na literatura técnica foi o preponderante no sistema de drenagem de lixiviado e também auxiliar no estabelecimento da provável fonte do material de entupimentos, foram avaliadas as análises químicas de amostras da pedra utilizada para preenchimento do sistema de drenagem de lixiviado, do solo de cobertura diária dos resíduos e também do material de incrustação coletado em diferentes pontos. As análises foram realizadas por laboratório competente e os parâmetros foram os seguintes: cálcio, carbonato de cálcio, sílica, ferro e magnésio.

Por fim, por exclusão de hipóteses, pela observação local do fenômeno e pelas conclusões da revisão bibliográfica foi estabelecida a principal causa do severo entupimento no sistema de drenagem.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apenas dois anos após o início da operação do Aterro Sanitário de Brasília, vazamentos de lixiviado nos taludes do aterro indicaram haver um possível problema no sistema de drenagem desses líquidos, o que foi confirmado por meio de escavações realizadas em um trecho do sistema. A presença de quantidades

muito significativas de incrustações que preenchiam praticamente toda a seção transversal do tubo de PEAD de 400 mm de diâmetro utilizado nos drenos principais do sistema foi constatada (Figura 1).



**Figura 1:** Obstrução presente na tubulação perfurada do dreno de lixiviado do Aterro Sanitário de Brasília.



**Figura 2:** Detalhe do material presente na tubulação perfurada do dreno de lixiviado do Aterro Sanitário de Brasília.

A presença do material, que dificultava, em muito, a drenagem do lixiviado, fez com que o nível desse líquido se elevasse ao longo da altura do maciço. A inspeção do sistema feita por meio de câmeras indicou que o entupimento estava presente em toda a extensão alcançada pelo equipamento. Detalhe do material de entupimento é apresentado na Figura 2. É importante ressaltar que o fenômeno continuava a se propagar ao longo do sistema de coleta e transporte de lixiviados alcançando, inclusive, o medidor Parshall e formando depósito nas lagoas de armazenamento de lixiviado. A formação de incrustações significativas foi observada também nas tubulações de recalque utilizadas para bombear o lixiviado acumulado na base do aterro.

O material não possuía odor significativo e apresentou resistência à maceração com pá. Tais características indicaram uma maior probabilidade de se tratar de material inorgânico. Além disso, fisicamente, o material incrustado parecia ser composto por pequenos grãos com diâmetros compatíveis às aberturas das tubulações perfuradas utilizadas no sistema de drenagem, reforçando a hipótese de o entupimento estar relacionado à precipitação de cátions inorgânicos.

Embora relatos de problemas de entupimento em sistemas de drenagem de lixiviados não tenham sido encontrados na literatura técnica nacional, fenômenos semelhantes foram descritos em aterros de diversos países, com destaque para estudos realizados em 10 aterros sanitários da Alemanha, no final dos anos 80. De acordo com Ramke (2008), a maioria desses aterros apresentava incrustações em grandes extensões de seus sistemas de drenagem de lixiviados. As causas de tais incrustações, até então desconhecidas, foram investigadas por pesquisadores da Universidade Técnica de Braunschweig que obtiveram a seguinte composição química média para o material de entupimento (massa seca) desses aterros: 21% de cálcio, 34% de carbonato, 16% de sílica, 8% de ferro e 1% de magnésio.

Posteriormente, fenômenos similares foram observados em aterros de outros países e pesquisas de

campo e de laboratório chegaram a resultados semelhantes aos obtidos para os aterros alemães (FLEMING et al., 1999; BENNETT et al., 2000; VANGULCK et al., 2004).

Embora a Agência de Proteção Ambiental da Irlanda (EPA, 2000) estabeleça que o entupimento de um sistema de drenagem de lixiviado pode ocorrer devido à deposição de sólidos (entupimento físico), crescimento de biomassa (entupimento biológico), formação de precipitados inorgânicos (entupimento químico), e/ou precipitação bioquímica (entupimento bioquímico), para VanGulck et al. (2003) a precipitação do carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) presente no lixiviado é a principal causa de entupimento de sistemas de drenagem.

Segundo os autores citados, tal fato se deve à fermentação do acetato que adiciona carbonato ao meio, aumentando o pH do lixiviado, e precipitando os cátions de cálcio. Cátions não cálcicos (por exemplo, ferro e magnésio) também podem precipitar. Os microrganismos anaeróbios, aderidos na forma de biofilme na superfície do material de enchimento dos drenos, degradam (fermentam) os ácidos voláteis presentes no lixiviado, à medida que este líquido passa pelos canais intersticiais da camada drenante. Como resultado, ocorre a produção de ácido carbônico.

### **Avaliação da concepção e da implantação do sistema de drenagem de lixiviados**

O sistema proposto no projeto executivo do Aterro Sanitário de Brasília contempla drenos principais dotados de tubo de PEAD perfurado de 400 mm de diâmetro, drenos secundários, drenos coletores e emissário de lixiviado para encaminhar as vazões captadas às lagoas de acumulação. A concepção adotada para a drenagem na fundação do aterro (drenagem de base) foi a do tipo “espinha de peixe”.

Conforme o projeto básico de implantação e operação do aterro sanitário, não haveria necessidade de se utilizar material lavado na implantação dos drenos de lixiviado; no entanto, a utilização de brita reciclada não foi recomendada.

A análise do projeto executivo do sistema de drenagem indicou não haver desacordos com as recomendações da literatura e normas técnicas nacionais. Ressalva é feita à concepção adotada que, à época, já não era a mais recomendada nos países desenvolvidos, os quais já usavam colchões drenantes compostos por pedras com granulometria uniforme, lavadas e com baixo teor de cálcio, justamente para minimizar os entupimentos (FLEMING et al., 1999; ROWE et al., 2010; ROWE et al., 2012).

### **Análise quantitativa e qualitativa dos resíduos aterrados e do lixiviado gerado**

Todos os resíduos coletados no Distrito Federal pelo SLU passam por triagem antes de serem encaminhados ao Aterro Sanitário Brasília. Sendo assim, o aterro recebeu para disposição em seu maciço apenas os rejeitos das Usinas de Triagem e Compostagem da Asa Sul e de Ceilândia e alguns resíduos particulares autorizados. Além desses resíduos, aqui denominados resíduos sólidos urbanos (RSU), exceção foi feita para a entrada dos resíduos provenientes das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) da CAESB (resíduos da limpeza de grades, desarenadores e as gorduras dos decantadores e dos sistemas de recebimento de lodo de limpa fossa) e do rejeito do peneiramento do composto da Usina de Triagem e

## Compostagem de Ceilândia.

Do total recebido no aterro até a época de realização deste trabalho, o percentual médio de resíduos da CAESB acrescidos dos rejeitos do pátio de compostagem foi inferior a 6% (Tabela 1). Conseqüentemente, pode-se dizer que os resíduos depositados no aterro eram compostos basicamente por RSU.

**Tabela 1:** Quantitativos dos resíduos recebidos no Aterro Sanitário de Brasília no período de janeiro de 2017 a abril de 2019.

Ano	Resíduos sólidos urbanos (t)	Resíduos da CAESB (t)	Rejeito da Usina de Triagem e Compostagem de Ceilândia (t)	Total recebido (t)
2017	241.962,68	6.101,70	15.639,16	263.703,54
2018	722.311,75	8.929,46	18.367,40	749.608,61
2019 (jan./abr.)	255.540,83	3.189,74	6.245,74	264.976,31

A avaliação dos RSU depositados no aterro não indicou anormalidades quanto à composição do que convencionalmente se recebe em outros aterros sanitários do país, inclusive, no tocante à presença de cálcio. Além disso, não foram relatados recebimentos de cargas atípicas.

Tal consideração foi estendida aos demais resíduos recebidos no local – resíduos da CAESB e o rejeito do peneiramento do composto. Os baixos valores de cálcio obtidos nas amostras analisadas pelas empresas geradoras não foram significantes para resultar em problemas de entupimento na magnitude observada no local. Avaliando os volumes de lixiviado gerados no aterro e transportados para as ETE das CAESB, cujos valores variaram entre 0,0 e 4,03 L/s, pode-se dizer que eles não são discrepantes dos valores de vazão geralmente encontrados para aterros sanitários similares em termos de idade, concepção (verticalizados), capacidade de processamento e condições climatológicas.

No Aterro Sanitário de Anápolis, após 5 anos de funcionamento, quando sua capacidade de processamento era de 300 t/dia, a vazão média mensal de lixiviados era de 0,5 L/s. No ano de 2018, o Aterro Sanitário de Goiânia recebeu um total de 473.366 t de resíduos (domiciliares e de grandes geradores), e apresentou vazões mensais médias de lixiviado variando de 1,11 a 5,64 L/s (GOIÂNIA, 2020).

A análise da composição do lixiviado gerado no Aterro de Brasília não indicou anormalidades quando comparada à de outros aterros sanitários de mesma idade, corroborando com a conclusão de não haver ocorrência de disposição de resíduos não autorizados (Tabela 2).

**Tabela 2:** Comparativo da composição do lixiviado do Aterro Sanitário de Brasília com a de outros aterros do país e do mundo.

Parâmetros de qualidade	Aterros Sanitários				
	Brasília	Norte americanos <sup>(a)</sup>	Espanhóis <sup>(b)</sup>	Bauru/SP <sup>(c)</sup>	Anápolis/GO <sup>(d)</sup>
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	10.600 a 14.400	800 a 10.000	850 a 17.500	8.500 a 13.500	-
Alcalinidade total (mg/L)	10.600 a 14.400	-	-	-	-
Alcalinidade Carbonatos (mg/L)	0,0	-	-	-	-
Cálcio total (mg/L)	45,6 a 656	200 a 3.000	-	-	-
DBO (mg/L)	2.450 a 18.000	2.000 a 30.000	15.000 a 50.000	60.000 a 96.000	440 a 3.400
DQO (mg/L)	5.661 a 26.163	3.000 a 60.000	21.000 a 78.000	-	1.272 a 13.090
Ferro (mg/L)	0,4 a 101	6,3 a 1.200	2 a 2.100	70 a 500	-
Magnésio total (mg/L)	220 a 316	50 a 1.500	-	-	-
pH	7,8 a 8,6	4,5 a 7,5	3,5 a 9,0	6,9 a 8,2	7,4 a 8,6

(a) Vilhena (2018), (b) Clareto (1997); Held (1996) (citado por SEGATO et al., 2000), (c) Segato et al. (2000), (d) Carvalho et al. (2015).

### Avaliação química do material de enchimento do sistema de drenagem, do solo de cobertura diária dos resíduos e do material incrustado nas tubulações

No aterro em estudo as pedras calcárias não lavadas (portanto, contendo finos) e de granulometria não uniforme foram utilizadas tanto para o preenchimento do sistema de drenagem de lixiviado (de base e intermediário) quanto nos acessos internos do aterro. Os resultados obtidos nas análises químicas realizadas para esses materiais e para os solos locais utilizados na cobertura diária dos resíduos depositados no aterro encontram-se apresentados na Tabela 2. Os mesmos parâmetros foram utilizados nas análises realizadas com 10 amostras do material de incrustação coletadas em diferentes pontos (Tabela 3).

**Tabela 3:** Composição química da pedra utilizada no sistema de drenagem de lixiviado e dos solos utilizados para recobrimento dos resíduos no Aterro Sanitário de Brasília.

Amostra	Parâmetros				
	Cálcio (% p/p)	Carbonato de cálcio (% p/p)	Sílica + insolúveis (% p/p)	Ferro (% p/p)	Magnésio (% p/p)
Pedra utilizada no sistema de drenagem	38,90	0,14	56,00	0,0125	0,12
Solo 1 (silte amarelo)	0,0133	< 0,05	89,5	6,84	0,0126
Solo 2 (argila vermelha)	0,00926	< 0,05	79,9	10,9	0,0281

**Tabela 4:** Composição química de amostras do material de entupimento retiradas do Aterro Sanitário de Brasília.

Ponto de amostragem	Parâmetros				
	Cálcio (% p/p)	Carbonato de cálcio (% p/p)	Sílica + insolúveis (% p/p)	Ferro (% p/p)	Magnésio (% p/p)
Rede obstruída (amostra 1)	26,50	0,08	66,3	6,52	0,421
Rede obstruída (amostra 2)	25,50	0,19	61,40	7,94	0,519
Calha Parshall	24,20	0,41	65,60	5,50	0,488
Último PV emissário	27,30	0,22	58,20	4,55	0,879
Emissário após último PV	29,60	0,17	59,80	3,46	0,523
Emissário	28,30	0,06	58,60	4,92	0,563
Tubulação de recalque	30,90	< 0,05	57,20	2,50	0,547
Tubulação emissário chorume (amostra 1)	17,20	0,54	90,90	5,91	0,572
Tubulação emissário chorume (amostra 2)	16,90	0,34	93,30	5,34	0,534
Calha Parshall	16,50	0,47	72,40	5,41	0,528
Média	24,29	-	68,37	5,21	0,557

Com base nos resultados obtidos nas análises químicas e no levantamento bibliográfico realizado foi possível fazer as seguintes considerações: As amostras dos dois tipos de solo utilizados para recobrimento dos resíduos não apresentaram cálcio em concentrações significativas; portanto, não constituem fonte de cálcio para o material de entupimento; O cálcio foi o elemento presente em maior concentração nas amostras da pedra de enchimento e do material de entupimento - 16,5 a 30,9%, respectivamente. Esses valores encontram-se bastante próximos daqueles observados em estudos similares realizados por Fleming et al. (1999); A pedra utilizada no sistema de drenagem apresenta composição bastante próxima às obtidas para as amostras do material de entupimento. Tal fato reforça a contribuição desta pedra para os problemas de entupimento observados no aterro; Embora o material utilizado para estruturação dos acessos sobre o maciço de resíduos seja utilizado em quantidade relativamente baixa, ele é oriundo da mesma pedreira que forneceu o material para enchimento do sistema de drenagem de lixiviados, cuja composição apresenta elevados teores de cálcio.

## Análise das hipóteses aventadas sobre as causas do entupimento do sistema de drenagem

Diante do exposto anteriormente, é apresentada no Quadro 2 a análise das hipóteses aventadas inicialmente sobre as causas das obstruções na drenagem de lixiviados do aterro avaliado.

**Quadro 2:** Análise das hipóteses das causas dos problemas de obstrução na drenagem de lixiviados do Aterro Sanitário de Brasília.

Hipótese	Aspectos envolvidos	Análise	Conclusão
Problemas no projeto do sistema de drenagem de lixiviado	Baixa declividade Subdimensionamento da seção transversal Distância inadequada entre os drenos	Não foram observados problemas relacionados ao dimensionamento da unidade	Refutada
	Utilização de pedras calcárias não lavadas como material de enchimento dos drenos de lixiviado	Embora não haja restrições quanto ao uso de pedras calcárias não lavadas nas normas técnicas nacionais, a literatura internacional já não recomendava e, até mesmo, restringia a utilização destes materiais, devido ao seu potencial de causar incrustações significativas na drenagem de lixiviados	Comprovada
Execução do sistema em desacordo com as especificações do projeto	Sistema em desacordo com as orientações técnicas propostas no projeto	O aterro foi construído em conformidade com as especificações do projeto	Refutada
Problemas operacionais	Falhas no controle dos resíduos recebidos no aterro Utilização inadequada de material de estruturação dos acessos internos ao maciço	Os resíduos dispostos no aterro bem como o solo de cobertura não contribuíram para a incrustação observada	Refutada

## CONCLUSÕES

A principal causa do severo entupimento do sistema de coleta e transporte de lixiviado do aterro sanitário de Brasília foi o uso de pedras calcárias (com cerca de 50% de carbonato de cálcio) de granulometria não uniforme e com elevada concentração de finos (pedra não lavada).

Embora não tenham sido encontrados relatos quanto a problemas similares em aterros brasileiros, a literatura técnica e científica internacional descreve amplamente casos similares, contendo, inclusive, os fundamentos teóricos do mecanismo biogeoquímico.

O uso deste material disponibilizou quantidades significativas de cálcio no lixiviado, devido principalmente à influência da fase acidogênica da digestão anaeróbia da fração orgânica dos resíduos. Posteriormente, o cálcio dissolvido, na forma de cátions, sofreu precipitação química devido ao aumento do pH do lixiviado decorrente da fermentação dos ácidos graxos voláteis durante a fase metanogênica da digestão anaeróbia.

A magnitude do entupimento aumentou ao longo do comprimento do trecho do sistema de drenagem externo ao maciço investigado (sentido montante para jusante), corroborando com a tese descrita acima. No caso, este trecho pareceu se comportar como um filtro biológico anaeróbio de leito horizontal, cuja fase acidogênica prepondera nas camadas iniciais e a metanogênica nas camadas finais.

Embora o entupimento também resulte da sedimentação de sólidos presentes nos resíduos e que foram lixiviados para o sistema de drenagem (entupimento físico) e da formação de biofilme na superfície das pedras utilizadas (entupimento biológico), o mecanismo biogeoquímico descrito anteriormente foi determinante na magnitude do entupimento ocorrido no aterro de Brasília.

A evidência incontestável de que o mecanismo biogeoquímico foi determinante no entupimento do

sistema de drenagem foi a formação de incrustações significativas nas tubulações de recalque utilizadas para bombear o lixiviado acumulado na base do aterro já que a velocidade de escoamento nessas tubulações não permitiria a sedimentação de partículas e até mesmo a formação de biofilme.

Outro fator que corrobora com essa conclusão é o fato das análises da composição química das amostras do material de entupimento coletadas no sistema de drenagem do aterro em questão terem indicado elevadas concentrações de cálcio.

## REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13.89**. Aterros de resíduos não perigosos: critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

BCME. British Columbia Ministry of Environment. **Landfill Criteria For Municipal Solid Waste**. 2 ed. 2016.

BENNETT, P. J.; LONGSTAFFE, F. J.; ROWE, R. K.. The stability of dolomite in landfill leachate collection systems. **Canadian Geotechnical Journal**, v. 37, p.371-378, 2000. DOI: <http://doi.org/10.1139/t99-110>

CARVALHO, E. H.; ANDREOLI, C. V.. **Lodos de fossa e tanque séptico**: orientações para definição de alternativas de gestão e destinação. Rio de Janeiro: ABES, 2015.

EPA. Australian Environment Protection Authority. **Environmental Guidelines Solid waste landfills**. EPA, 2016.

EPA. Ireland Environment Protection Agency. **Landfill Manuals: Landfill Site Design**. EPA, 2000.

FLEMING, I. R.; ROWE, R. K.; CULLIMORE, D. R.. Field observations of clogging in a landfill leachate collection system. **Canadian Geotechnical Journal**, v.36, p.685-707, 1999.

GOIÂNIA. Prefeitura de Goiânia. **Plano de coleta seletiva de Goiânia: Produto 1: Relatório da atualização do diagnóstico para a coleta seletiva**. 2020.

RAMKE, H. G.. Leachate Collection Systems. In: TELEKES, G.; IMRE, E.; WITT, K. J.; RAMKE, H. G.. **Proceedings of the 1st Middle European Conference on Landfill Technology**. Budapest: Szent István University, 2008.

ROWE, R. K.; YU, Y.. Clogging of finger drain systems in MSW landfills. **Waste Management**, v.32, p.234-2352, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2012.07.018>

ROWE, R. K.; YU, Y.. Factors Affecting the Clogging of Leachate Collection Systems in MSW Landfills. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON ENVIRONMENTAL GEOTECHNICS, 6. **Annals**. New Delhi, 2010. p.3-23.

SEGATO, L. M.; SILVA, C. L.. Caracterização do chorume do aterro sanitário de Bauru. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27. **Anais**. Porto Alegre, 2000.

VANGULCK, J. F.; ROWE, R. K.. Influence of landfill leachate suspended solids on clog (biorock) formation. **Waste Management**, v.24, p.723-738, 2004.

VANGULCK, J. F.; ROWE, R. K.; RITTMANN, B. E.; COOKE, A. J.. Predicting biogeochemical calcium precipitation in landfill leachate collection systems. **Biodegradation**, v.14, p.331-346, 2003.

VILHENA, A.. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 4 ed. São Paulo: CEMPRE, 2018.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea ([https://opensea.io/HUB\\_CBPC](https://opensea.io/HUB_CBPC)), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).

*The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).*



<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749cce646f68ac8c248420045cb7b5e/44951876800440915849902480545070078646674086961356520679561157618585848250369/>