

REMOÇÃO DE POLUENTES DE PERCOLADOS RECIRCULADOS EM COLUNAS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS, EM AUSÊNCIA OU PRESENÇA DE CAMADA DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Antonio Teixeira de Matos¹; André Luciano de Carvalho²; Izabel Christina D'Almeida Duarte Azevedo³, Roberto Francisco de Azevedo⁴

RESUMO

Com a realização desse trabalho, objetivou-se avaliar a eficiência de remoção de poluentes presentes em percolados produzidos por resíduo sólido urbano (RSU) novo (recém coletado), quando aplicados em colunas contendo RSU velho (13 anos), e de percolado produzido em RSU maduro, quando recirculado sobre ele mesmo. Além disso, procurou-se avaliar a influência da camada de resíduo de construção civil (RCC) nas características físicas, químicas e bioquímicas do efluente. Para a execução do experimento, foram preenchidas duas colunas com RSU velho e duas com RSU maduro. Uma coluna de cada resíduo teve posicionada, na sua base, uma camada de 0,30 m de RCC. O percolado das colunas submetidas à recirculação foi coletado diariamente, tendo sua caracterização física (CE e concentração de ST, SF, SV, SST, SDT, SSF e SSV), química (pH, DQO, COT e concentração de N total, Ca, Mg, Fe, Mn, Cd, Cu, Zn, Pb, Ni e Cr) e bioquímica (DBO) realizada quinzenalmente. A recirculação do percolado em colunas de RSU velho ou maduro mostrou-se altamente eficiente na remoção de DBO, DQO e SST e relativamente altas eficiências foram obtidas na remoção de N_r , Ca, Mn e Fe, tendo proporcionado atendimento dos padrões para lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores. A camada de RCC proporcionou pequena influência na remoção de poluentes do percolado aplicado nas colunas de RSU.

Palavras-chave: aterro sanitário, chorume, lixo urbano

Pollutants Removal of the Landfill Leachate Recirculated in Columns of Urban Solid Waste in Absence or Presence of Layer of Construction Waste

ABSTRACT

With the completion of this work aimed to evaluate the pollutants removal efficiency of percolated produced by urban solid waste (MSW) new (freshly collected), when applied to columns containing MSW old (13 years), and leachate produced in MSW mature, when recirculated on himself. Furthermore, we tried to evaluate the influence of the layer of residue from construction (RCC) in the physical, chemical and biochemical characteristics of the effluent. To implement the experiment, two columns were filled with old MSW and mature MSW. A column of each residue was placed at its base, a layer of 0.30 m of RCC. The leachate of the columns before recycling was collected daily, and their physical characterization (EC and concentration of ST, SF, SV, SST, SDT, SSF and VSS), chemical (pH, COD, TOC and concentration of total N, Ca, Mg, Fe, Mn, Cd, Cu, Zn, Pb, Ni and Cr) and biochemical (BOD) held fortnightly. The recirculation of leachate into columns of old or mature MSW was highly efficient in the removal of BOD, COD and TSS and relatively high efficiencies were obtained in the removal of N_r , Ca, Mn and Fe, sufficient for answer the standards for release of effluents in water bodies. The layer of RCC has little influence on the removal of pollutants from the leachate used in columns of MSW.

Keywords: sanitary landfill, landfill leachate, urban residues

Recebido para publicação em 12/07/2007. Aprovado em 09/03/2009

¹ Engenheiro Agrícola, D.S., Prof. Associado, DEA/UFV, Viçosa-MG, 36570-000, atmatos@ufv.br.

² Engenheiro Civil, D.S., Prof. da UNIPAC, Ipatinga-MG, e-mail: andreluciano2001@yahoo.com.br.

³ Engenheira Civil, PhD., Prof. Titular, DEC/UFV, Viçosa-MG, 36570-000, e-mail: iazevedo@ufv.br.

⁴ Engenheiro Civil, D.S., Prof. Associado, DEC/UFV, Viçosa-MG, 36570-000, e-mail: razevedo@ufv.br.

INTRODUÇÃO

A sociedade atual é geradora de grande quantidade de resíduos, os quais devem ser dispostos de forma adequada para não causarem graves problemas de contaminação ambiental. Dentre os resíduos sólidos gerados estão os resíduos da construção civil (RCC) e o “lixo”, mais adequadamente denominados resíduos sólidos urbanos (RSU).

Segundo Azevedo et al. (2006), praticamente todas as atividades desenvolvidas na construção civil são geradoras de resíduos e segundo Pinto (2003), citado pelos mesmos autores, as perdas da massa total de materiais usados na construção empresarial (construção residencial em edifícios) varia de 20 a 30%.

No Brasil, a produção per capita de lixo é de 0,5 a 1,0 kg hab⁻¹ dia⁻¹ (MOTA, 2000) e, das 125.000 toneladas produzidas diariamente, cerca de 47% são destinados a aterros sanitários, 22% a aterros controlados e 30% a lixões (CARVALHO, 2005).

O aterramento, por si só, não resolve o problema dos resíduos sólidos urbanos (RSU), uma vez que parte dos resíduos aterrados dá origem a um líquido de coloração escura, altamente poluidor, formado a partir de enzimas expelidas por bactérias decompositoras e de água de constituição do material, denominado “chorume” (ORTH, 1981). Segundo Qian et al. (2002) e Orth (1981), o chorume é gerado com a expulsão de líquidos e decomposição do material orgânico do resíduo aterrado, em decorrência de seu próprio peso ou da carga de compactação a que foi submetido, sendo formado o percolado quando esse líquido se mistura à água de chuva infiltrada, águas subterrâneas ou percolados recirculados no aterro sanitário.

O percolado produzido é considerado uma das principais preocupações por ocasião do projeto de aterros sanitários, uma vez que, quando não eficientemente captado, fica sujeito à migração, podendo atingir o lençol freático, transportando

uma série de íons e compostos químicos e agentes biológicos de elevado impacto como poluentes de mananciais de águas superficiais ou subterrâneas, e, quando captado, deverá ser adequadamente tratado para que possa ser lançado em corpos hídricos receptores.

O tratamento do percolado representa, ainda, um grande desafio na elaboração dos projetos de aterros sanitários, uma vez que suas características são alteradas em função da quantidade de água incorporada ao chorume, das características dos resíduos dispostos no aterro e, principalmente, da idade do aterro (FERREIRA et al., 2001). Além disso, a grande exigência de área, muitas vezes pouco disponível nas vizinhanças de grandes centros urbanos, e a relativa baixa eficiência do sistema convencional de tratamento (lagoas anaeróbias seguidas de facultativas), têm levado técnicos e pesquisadores a procurarem alternativas técnicas que possibilitem o tratamento/disposição final com menor custo econômico e ambiental.

De acordo com a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB (1995), um método tecnicamente viável para o condicionamento de percolado é a adoção de um sistema que permita a sua recirculação no próprio aterro sanitário. Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT/CEMPRE (2000), a recirculação do percolado para o interior do aterro sanitário, de maneira que ele possa percolar através da massa de sólidos disposta em camadas, é uma técnica atual e bastante inovadora no tratamento desse líquido poluidor.

Algumas observações importantes têm sido apresentadas ou sugeridas na forma de preenchimento das células de RSU em aterros sanitários, as quais, se implementadas, poderiam concorrer para a obtenção de um percolado de maior tratabilidade e de menor poder impactante para o ambiente. Souza (1998) encontrou menores concentrações de metais pesados em amostras de solo coletadas abaixo das células-base do Aterro Sanitário de Belo Horizonte, onde o RSU urbano foi depositado sobre uma camada de RCC, do que

em amostras de solo coletadas em áreas que não apresentavam uma camada desse material. O autor atribuiu essa diferença nas concentrações de metais pesados ao fato da camada ser rica em material carbonático, apresentando, portanto, pH elevado, condição que possibilitou que atuasse com uma “barreira química”, proporcionada pela precipitação e imobilização de metais pesados presentes no percolado.

Entretanto, em virtude de ser uma técnica relativamente nova, pequeno é o conhecimento disponível sobre possíveis efeitos da presença de camadas de RCC na qualidade do percolado produzido em aterros sanitários.

Com a realização deste trabalho, objetivou-se avaliar a influência da idade dos resíduos sólidos urbanos (RSU) e de uma camada de resíduo de construção civil (RCC) na eficiência de remoção de poluentes presentes em percolados de RSU novo (recém coletado), quando submetido à recirculação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Área Experimental de Tratamento de Resíduos Urbanos do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, MG.

Para o desenvolvimento das atividades de pesquisa, foram construídas seis colunas para representar células de um aterro sanitário. Cada coluna foi constituída por três manilhas de concreto armado com 1,0 m de diâmetro interno e 1,0 m de altura, sobrepostas e seladas na junção com argamassa de cimento, formando um cilindro rígido de 3,0 m de altura. As colunas foram encostadas num talude e apoiadas, após compactação do solo, sobre uma laje de concreto armado, para dar maior estabilidade e minimizar vazamentos.

A base de cada coluna foi construída com uma pequena declividade para que o percolado fosse conduzido, do seu fundo, para uma tubulação

de PVC de 25 mm de diâmetro. Essa tubulação atravessava toda a parede da coluna e tinha em sua extremidade uma torneira, também de PVC, com a finalidade de facilitar a coleta desse líquido (Figura 1).

Antes do preenchimento das colunas com RSU novo, gerado na cidade de Viçosa-MG, foi feita a determinação da composição gravimétrica desse material, utilizando-se a técnica do quarteamento para obtenção de uma amostra homogênea, dos resíduos sólidos urbanos (RSU). Como o RSU foi coletado em dois bairros da cidade, o material teve sua massa quantificada e foi classificado separadamente. O RSU do bairro 1 apresentou a seguinte constituição: 14,5% de papel/papelão, 14,5% de plástico fino, 3,0% de plástico duro, 0,5% de PET, 1,8% de vidro, 0,1% de alumínio, 1,8% de metais, 62,8% de material orgânico e 1,0% de outros. O RSU do bairro 2 foi constituído por: 15,0% de papel/papelão, 18,8% de plástico fino, 2,8% de plástico duro, 1,2% de PET, 4,3% de vidro, 0,8% de alumínio, 1,5% de metais, 52,4% de material orgânico e 3,2% de outros.

ORSU velho, com 13 anos de idade, calculada com base em informações prestadas pela Prefeitura de Visconde do Rio Branco-MG, foi desenterrado do Aterro Controlado da cidade, a uma profundidade de 3,0 m. Não foi possível fazer a caracterização física e a composição gravimétrica do RSU velho devido ao mesmo estar em adiantado estado de decomposição, dificultando, assim, a identificação dos materiais nele presentes.

O resíduo da construção civil (RCC), colocados na base de algumas colunas, foram coletados em demolição localizada próxima ao Departamento de Engenharia Agrícola, sendo constituído, predominantemente, por material resultante da derrubada de paredes. O material foi quebrado e peneirado, de forma a ser obter granulometria entre 20 e 100 mm de tamanho.

As colunas foram preenchidas da seguinte maneira:

- com RSU recém coletado, proveniente do bairro 1, sem a camada de 0,30 m de resíduo de construção civil (RCC) na base (CNSE);
- com RSU maduro, idade aproximada de 3 anos (segundo informações da Prefeitura da cidade), sem camada de RCC (CMSE);
- com RSU velho, idade aproximada de 13 anos, sem camada de RCC (CVSE);
- com RSU recém coletado, proveniente do bairro 2 novo com camada de 0,30 m de RCC na base (CNCE);
- com RSU maduro com camada de 0,30 m de RCC na base (CMCE); e
- com RSU velho com camada de 0,30 m de RCC na base (CVCE).

Todas as colunas foram preenchidas, inicialmente, com uma camada de drenagem na base, de 0,10 m espessura, composta por 0,07 m de brita nº 1 e 0,03 m de areia grossa. Sobre a camada de drenagem, os CNCE, CMCE e CVCE receberam uma camada de 0,30 m de espessura de RCC. Sobre a camada de drenagem das colunas que não receberam a camada de RCC e da camada de RCC das outras colunas, foram acondicionadas, seqüencialmente, camadas de RSU, de forma que, depois de compactadas, alcançassem a espessura de 0,15 m, com peso específico de 7 kN m^{-3} . As camadas de RSU foram sobrepostas até ser atingida uma altura de 2,47 m. No topo da camada de RSU, foi colocada, em todas as colunas, uma camada de 0,35 m de espessura, composta de 0,10 m de brita nº 1 sobreposta por uma camada de 0,25 m de areia grossa, a fim de facilitar e homogeneizar a infiltração da água de chuva e do percolado, em caso de sua recirculação nas colunas.

Os percolados produzidos foram coletados e medidos (com o auxílio de uma proveta), diariamente, às 9:30 horas, durante todo o período de monitoramento do sistema (1 ano). Quinzenalmente, uma subamostra dos percolados

era encaminhada ao laboratório para análise física e química, sendo o restante armazenado em tambores plásticos, específicos para cada coluna de RSU, até o momento de sua aplicação ou recirculação, que era semanal (Figura 2). A aplicação foi feita com a utilização de regador plástico, de 8 L, pela superfície, na camada de areia grossa e brita disposta sobre a massa dos resíduos, garantindo assim, uma melhor uniformização do líquido na massa dos mesmos.

O tratamento de recirculação do percolado foi estabelecido da seguinte maneira: o CNSE e o CNCE não receberam percolados, servindo somente de produtores de percolado para recirculação no CVSE e no CVCE, respectivamente. Os percolados produzidos no CMSE e CMCE foram recirculados neles mesmos. Os percolados recirculados não foram submetidos a qualquer pré-tratamento, caracterizando-se o sistema, dessa forma, como sendo de recirculação direta.

As análises de pH, CE, e as concentrações de DBO, DQO, COT, ST, SF, SV, SST, SSV, SSF, SDT e nitrogênio total (NT) foram realizadas no Laboratório de Qualidade da Água, do Departamento de Engenharia Agrícola/UFV, enquanto as de concentração de Zn, Cd, Cu, Pb, Ni, Mn, Cr, Fe, Ca e Mg no Laboratório de Espectrometria por Absorção Atômica, do Departamento de Solos/UFV.

O pH e a condutividade elétrica foram medidos pelo método eletrométrico; a DBO foi quantificada pelo método iodométrico; a DQO pelo método do refluxo aberto; o carbono orgânico total pelo método da oxidação do material orgânico com dicromato de potássio, em meio sulfúrico; o nitrogênio total pelo método Kjeldahl; a concentração de sólidos totais (ST) foi obtida após a secagem do líquido em estufa, sob temperatura de $103-105^{\circ}\text{C}$; os sólidos fixos (SF) após queima do resíduo obtido na obtenção de ST em mufla, sob temperatura de 550°C ; os sólidos voláteis foram obtidos por diferença entre ST e SF; os sólidos em suspensão total (SST), fixos (SSF) e voláteis (SSV) foram obtidos de forma semelhante

às citadas anteriormente, com a diferença que foi quantificado no resíduo retido em papel filtro (Whatman, diâmetro de poro de 0,47 μm) e os sólidos dissolvidos foram estimados pela diferença entre ST e SST; a concentração de metais (Zn, Cd, Cu, Pb, Ni, Mg, Mn, Fe, Cr e Ca) foram quantificadas, após digestão nítrico-perclórico das amostras, em Espectrofotômetro por Absorção Atômica.

Todas as análises foram executadas seguindo-se os métodos apresentados no *Standard Methods* (APHA, 1998).

O cálculo da eficiência na remoção das variáveis analisadas no percolado das colunas de RSU foi efetuado utilizando-se o valor médio afluente e o valor médio efluente nas colunas, considerando todo o período de monitoramento do sistema.



Figura 1. Vista geral das colunas preenchidas com resíduos sólidos urbano



Figura 2. Sistema de recirculação e detalhe da lâmina de percolado formada sobre a coluna de resíduos sólidos urbano

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 1, estão apresentados os valores médios de concentração afluente e efluente e de eficiência média de remoção, obtidos ao longo do período de monitoramento do sistema de tratamento dos percolados produzidos nas colunas CNSE e CNCE (produtoras de percolado) por recirculação nas colunas CVSE e CVCE (receptoras de percolado), sem e com camada de RCC. Tendo em vista que as concentrações de metais pesados no afluente e efluente ficaram abaixo do limite de detecção do método de análise, seus valores não foram apresentadas nesta tabela.

Conforme pode ser observado, em todas as colunas de RSU velho, ou seja, a que continha e a que não continha camada de RCC e que receberam, respectivamente, o percolado proveniente da CNSE e CNCE, o processo da recirculação provocou decréscimo nos valores de todas as variáveis analisadas.

Comparando-se os resultados obtidos de eficiência de remoção de poluentes dos percolados aplicados nas colunas contendo camada de RCC com os obtidos nas colunas sem a camada de RCC, verifica-se uma remoção pouco e menores concentrações efluentes de DBO, DQO e COT das colunas de RSU, quando na presença da camada de RCC. Grande remoção de carga orgânica dos

percolados aplicados foi obtida tanto na coluna contendo RSU novo como na que continha RSU velho. A presença da camada de RCC na base das colunas de RSU velho proporcionou a obtenção de um efluente com concentração média de 76 mg L⁻¹, sendo que na coluna que não continha RCC o efluente apresentou valor médio de 939 mg L⁻¹. Apesar da diferença obtida nos valores, segundo a Deliberação Normativa 01/2008 do COPAM/CERH (COPAM-CERH, 2008), no tratamento de percolados de aterros sanitários municipais, a média anual de remoção de DBO para lançamento desses efluentes em corpos hídricos receptores deve ser igual ou maior que 70%, condição plenamente atendida em ambas colunas. Na referida Deliberação, a remoção média anual de DQO, para a mesma água residuária, deve ser de no mínimo 65%, o que também foi plenamente satisfeito por ambos as colunas de RSU velho.

Na série de sólidos, as maiores remoções médias foram de SST e a mais baixa foi a de

SDT, indicando ser a recirculação uma forma de tratamento predominantemente física, o que ficou comprovado pelos valores obtidos para a CE nos percolados, variáveis sabidamente de alta correlação estatística. Acredita-se que a CVCE tenha apresentado menor eficiência na remoção de SDT que a CVSE por terem sido liberados íons do RCC.

As remoções médias de 72,4% e 79,5% na concentração de NT obtidas no percolado aplicado, respectivamente, na CVSE e CVCE podem ser consideradas altas, haja vista que essa é uma remoção difícil e que em muitos sistemas de tratamento ocorrem, predominantemente, por ação microbiológica.

À exceção do Fe, não houve forte influência da camada de RCC na remoção dos cátions cuja concentração foi quantificada no percolado. A maior remoção de Fe pode estar associada a sua precipitação na camada de RCC contida na coluna CVCE.

Quadro 1. Valores médios de 24 quantificações das concentrações afluente e efluente e eficiência média na remoção de variáveis químicas, físicas e bioquímicas do percolado no processo de recirculação, por um ano, nas colunas de RSU velho, contendo camada de resíduo de construção civil, RCC, (CVCE) e na sua ausência (CVSE).

Variáveis	Sem camada de RCC			Com camada de RCC		
	Afluente CVSE	Efluente	Eficiência (%)	Afluente CVCE	Efluente	Eficiência (%)
DBO (mg L ⁻¹)	16.034	939	94,1	12.177	76	99,4
DQO (mg L ⁻¹)	34.346	1.639	95,2	21.316	475	97,8
COT (mg L ⁻¹)	6.666	437	93,5	6.474	56	99,1
CE (dS m ⁻¹)	7,70	5,16	33,0	7,39	4,68	36,7
ST (g L ⁻¹)	16,6	5,4	67,4	14,8	5,3	64,3
SF (g L ⁻¹)	7,4	3,7	50,7	6,8	3,4	50,5
SV (g L ⁻¹)	9,1	1,6	82,7	6,6	1,9	70,8
SST (g L ⁻¹)	513,8	48,2	90,6	340,1	18,7	94,5
SDT (mg L ⁻¹)	14.886,4	5.062,0	66,0	13.085,5	5.157,0	60,6
SSF (mg L ⁻¹)	103,1	22,9	77,8	90,0	8,4	90,7
SSV (g L ⁻¹)	427,6	29,0	93,2	266,1	14,3	94,6
N _T (mg L ⁻¹)	865,5	238,9	72,4	843,9	173,3	79,5
Ca (mg L ⁻¹)	1.149,4	159,8	86,1	919,9	106,8	88,4
Fe (mg L ⁻¹)	231,2	25,8	88,9	133,4	5,6	95,8
Mg (mg L ⁻¹)	172,2	123,1	28,5	156,0	114,9	26,4
Mn (mg L ⁻¹)	7,6	0,5	93,3	5,3	0,2	95,7

No Quadro 2, estão apresentados os valores de concentração média afluente e efluente e de eficiência média de remoção, obtidos ao longo do período de monitoramento do sistema de tratamento por recirculação dos percolados nas colunas CMSE e CMCE, sem e com camada de RCC. Tendo em vista que, tal como ocorreu nas colunas de RSU velho, as concentrações de metais pesados no afluente e efluente ficaram abaixo do limite de detecção do método de análise e, por essa razão, não estão apresentadas nesta tabela.

Pode-se observar que, de uma forma geral, o afluente às colunas de RSU maduro (recirculado nele mesmo) apresentou menor poder poluente que os gerados nas colunas de RSU novo e que foram aplicados nas colunas preenchidas com RSU velho, evidenciando que o material mais novo, em virtude do pequeno tempo em que ficou exposto à lixiviação com água de chuva, produz um percolado mais concentrado em termos de poluentes.

Em relação aos componentes orgânicos, foram obtidas eficiências de remoção, à exceção do COT no CMSE, um pouco inferiores aos obtidos no CVSE e

CVCE, o que em parte se deveu às menores cargas aplicadas, tendo em vista que o percolado produzido em RSU maduro (3 anos de idade) é de muito menor carga orgânica do que o produzido por RSU novo (recém coletado). Por essa razão, as concentrações afluentes de DBO, DQO e COT eram relativamente baixas.

Os valores de concentração de DBO efluente, tanto do CMSE como do CMCE, tal como já discutido para o percolado da CVCE, atendem os padrões para lançamento de efluentes, tal como estabelecido na Resolução COPAM/CERH 01/2008 (COPAM-CERH, 2008).

As colunas preenchidas com RSU maduro apresentaram, no geral, maior eficiência de remoção de sólidos, ainda que o valor de CE ou da concentração de sólidos dissolvidos, de mais difícil remoção por mecanismos físicos, tenha sido maior. Acredita-se que as menores concentrações afluentes e eficiência de remoção de SDT na coluna que continha camada de RCC (CMCE), quando comparada a que não a tinha (CMSE) esteja associado à maior precipitação de íons ao passar na camada de entulho de construção civil.

Quadro 2. Valores médios de 24 quantificações das concentrações afluente e efluente e de eficiência média na remoção de variáveis químicas, físicas e bioquímicas do percolado no processo de recirculação, por um ano, nas colunas de RSU maduro, contendo camada de resíduo de construção civil, RCC, (CMCE) e na sua ausência (CMSE).

Variáveis	Sem camada de RCC			Com camada de RCC		
	CMSE		Eficiência (%)	CMCE		Eficiência (%)
	Afluente	Efluente		Afluente	Efluente	
DBO (mg L ⁻¹)	271	21	92,3	901	21	97,6
DQO (mg L ⁻¹)	1.649	222	86,5	2.522	166	93,4
COT (mg L ⁻¹)	2.175	2,5	99,9	1.913	1,75	99,9
CE (mS cm ⁻¹)	10,25	2,46	76,0	8,66	2,44	71,8
ST (g L ⁻¹)	19,2	2,6	86,7	13,3	0,9	93,5
SF (g L ⁻¹)	7,4	1,8	76,2	7,6	0,7	91,4
SV (g L ⁻¹)	17,1	0,4	97,6	11,9	0,2	98,2
SST (g L ⁻¹)	141,0	44,0	68,8	116,0	5,5	95,3
SDT (mg L ⁻¹)	19.172,7	2.484,5	87,0	13.294,5	836,8	93,7
SSF (mg L ⁻¹)	84,0	0,7	99,2	49,3	1,0	98,0
SSV (g L ⁻¹)	120,0	14,7	87,8	92,0	5,0	94,6
NT (mg L ⁻¹)	390,6	102,5	73,8	346,5	114,8	66,9
Ca (mg L ⁻¹)	262,0	0,0	-	316,3	59,9	81,1
Fe (mg L ⁻¹)	117,4	11,6	90,1	57,8	0,0	-
Mg (mg L ⁻¹)	247,5	9,9	96,0	260,8	42,9	83,5
Mn (mg L ⁻¹)	2,6	0,0	-	2,4	0,0	-

Comparando-se a qualidade do percolado das colunas, verifica-se que, no geral, idade do RSU é fator de influência, tendo sido obtido, por ordem decrescente, maior potencial contaminante no RSU novo, maduro e velho. Pode-se observar, também, que, de forma geral, a camada de RCC proporcionou efeitos benéficos à qualidade do percolado.

Com base nos resultados obtidos, acredita-se que a recirculação direta de percolado possa ser considerada alternativa de otimização da degradação dos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários, além de ser viável no tratamento dessas águas residuárias, quando o percolado produzido em células contendo RSU novo for aplicado em células contendo RSU velho ou pela recirculação do percolado em células de RSU maduro.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- A recirculação do percolado em colunas de RSU velho ou maduro mostrou-se altamente eficiente na remoção de DBO, DQO e SST e relativamente altas eficiências foram obtidas na remoção de N_r, Ca, Mn e Fe, tendo proporcionado atendimento dos padrões para lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores;
- A camada de RCC proporcionou pequena influência na remoção de poluentes do percolado aplicado nas colunas de RSU.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AWWA/APHA/WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th edition. New York, 1998.

AZEVEDO, G.O.D.; KIPERSTOK, A.; MOARES, L.R.S. Resíduos da construção civil em Salvador: os caminhos para uma gestão sustentável. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro-RJ, v.11, n.1, p.65-72, jan/mar. 2006

COPAM/CERH-MG - Conselho de Política Ambiental de Minas Gerais e Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Legislação do Meio Ambiente. Deliberação Normativa 01/2008. Belo Horizonte: 2008.

CARVALHO, A.L. **Efeitos da recirculação do percolado sobre a qualidade do efluente do lixo doméstico de diferentes idades**. 115 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL E LIMPEZA PÚBLICA – CETESB. **Caracterização e estudo de tratabilidade de líquidos percolados de aterros sanitários**. São Paulo, 1995. 66 p.

FERREIRA, J.A.; GIORDANO, G.; RITTER, E.; ROSSO, T.C.A.; CAMPOS, J.C.; LIMA, P. Z. M. Uma revisão das técnicas de tratamento de chorume e a realidade do Estado do Rio de Janeiro. In: XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa, 2001. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM - CEMPRE. **Lixo municipal. Manual de gerenciamento integrado**. 2. edição. São Paulo, 2000, 370p.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 2000, 416p.

ORTH, M.H.A. Aterros sanitários. **Revista de Limpeza Pública**. São Paulo: n. 20, v. 8, p. 26-34, 1981.

QIAN, X.; KOERNER, R.M.; GRAY, D.H. **Geotechnical aspects of landfill design and construction**. New Jersey: Prentice Hall. Upper Sadle River, 2002, 717 p.

SOUZA, H.A. **Estudo da contaminação ambiental na área do aterro sanitário da BR-040, da prefeitura municipal de Belo Horizonte (MG)**. 147 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Departamento de Geologia da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1998.