

PROCESSO DE GEORREMEDIAÇÃO ADITIVADA (GAD): UMA METODOLOGIA ALTERNATIVA PARA TRATAMENTO DE PERCOLADO DE ATERROS SANITÁRIOS

José Beldson Elias Ramos(*), Eldemar de Albuquerque Menor(**)

*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte - IFRN, beldson.elias@ifrn.edu.br;

**Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, menor@terra.com.br

RESUMO

A depuração de chorume nas ETP's (Estações de Tratamento de Percolados) de aterros sanitários, envolve volumes consideráveis e, geralmente, constatam-se deficiências de performance no seu tratamento. Os resultados das pesquisas voltadas para remediação das suas características tóxicas, que variam de aterro para aterro, vêm conduzindo a propostas em que esse poluente, seja como produto residual líquido ou como pasta adensada (lodo), é sempre descartado na Natureza. No presente trabalho apresenta-se uma metodologia alternativa (processo de georremediação aditivada, GAD) para melhorar substancialmente a degradação da matéria orgânica recalcitrante contida no chorume, associada a uma redução significativa nas concentrações de alguns metais pesados do efluente. No processo GAD, se emprega um *blend* industrial caulínico, ativado com cal hidratada, atuando como agente depurador, através da preparação de uma polpa com o chorume bruto. Essa nova metodologia, que pode ser adotada em escala operacional, permite a recuperação das frações residuais sólida e líquidas após a performance depuradora. Ambas as frações podem ser industrialmente aproveitadas e/ou adequadamente descartadas. A viabilidade operacional é também sustentada por um reduzido tempo de reação (máximo de 15 minutos) e baixos custos.

PALAVRAS-CHAVE: Percolado, Tratamento, *Blend* Caulínico Aditivado, Georremediação

ABSTRACT

The clearance of manure in ETP's (Wastewater Treatment Percolates) from landfills involves considerable volumes and usually deficiencies are found in the performance of their treatment. The results of research aimed at remediation of their toxic characteristics, ranging from landfill to landfill, are leading to proposals that that pollution, either as a waste liquid or paste as dense (sludge), it is always discarded in nature. The present work presents an alternative methodology (georremediação activated, GAD) to substantially improve the degradation of recalcitrant organic matter contained in manure, associated with a significant reduction in the concentrations of some heavy metals from wastewater. GAD in the process, it employs a blend industrial clays, whether or activated with hydrated lime, acting as a debugger, by preparing a pulp with the raw leachate. This new methodology, which can be adopted in operational scale, allows the recovery of fractions solid and liquid waste after the purifying performance. Both fractions can be industrially exploited and / or properly discarded. The operational viability is also supported by a reduced reaction time (maximum 15 minutes) and low costs.

KEY WORDS: Leachate, Treatment, Blend Kaolinic Activated, Georemediation

INTRODUÇÃO

A depuração de chorume em Estações de Tratamento de Percolados (ETP's) envolve volumes consideráveis e, geralmente, são constatadas deficiências de performance em seu tratamento. Os resultados das pesquisas voltadas para remediação das características tóxicas desses efluentes, que variam de aterro para aterro, vêm conduzindo a propostas em que, tanto o produto residual líquido (chorume tratado), quanto à pasta adensada de resíduos (lodo), terminam sempre indesejavelmente descartados na Natureza.

Este trabalho enfoca o estudo de viabilidade técnica de uma nova rota de processo, inovadora para tratamento de percolados de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos (RSU), visando, sobretudo, altas performances na degradação da matéria orgânica (MO). O escopo da investigação pretendeu, em primeira instância, reduções nos níveis de DBO, DQO e, eventualmente, de algumas espécies químicas metálicas, em escala operacional e prazo reduzido, com a condicionante de custos assimiláveis em impostos públicos.

O desenvolvimento dessa técnica alternativa teve como meta melhores desempenhos na qualidade de efluentes tratados por processos de degradação biológica da MO, utilizando-se, como caso-estudo, efluentes procedentes da Estação de

Tratamento de Percolados (ETP), do Aterro Controlado da Muribeca (ACM), localizado na Região Metropolitana do Recife, Pernambuco - Brasil.

Do ponto de vista estritamente técnico, o processo desenvolvido apresenta boas performances de eficiência, sobretudo no que concerne a redução da carga orgânica recalcitrante do percolado em estudo. Levando-se em consideração a qualidade do tratamento obtido nos experimentos, bem como o tempo de processamento, a metodologia proposta apresenta-se como viável e competitiva, indiscutivelmente atribuída ao benefício ambiental resultante da aplicação dessa tecnologia.

HIPÓTESE DE TRABALHO

Face às evidências de ineficiência dos métodos convencionais de tratamento de percolados pelos processos biológicos, especialmente via sistemas de lagoas de estabilização, a **hipótese de trabalho** que se preconiza neste trabalho de pesquisa é verificar a remoção da carga orgânica recalcitrante e de algumas espécies químicas metálicas, via tratamento com adição de *blend* caulínico, através da formação de uma polpa, utilizando-se como meio líquido o próprio percolado (processo de georremediação aditivada, GAD). Caso seja confirmada a eficácia do processo proposto, a ideia central da pesquisa é demonstrar a aplicação prática dessa nova metodologia, tomando como referência o trinômio *eficiência x operacionalidade x viabilidade técnica*.

METODOLOGIA UTILIZADA

Amostras do percolado nos experimentos

O percolado utilizado nos experimentos (chorume de referência) foi obtido na entrada (*input*) de um sistema de lagoas de estabilização ($DBO_{max}=7.300\text{mg/L}$, $DBO_{med} = 3.000\text{mg/L}$, $DBO_{min} = 1.000\text{mg/L}$, $DQO_{max} = 13.000\text{mg/L}$, $DQO_{med}=7.000\text{mg/L}$ e $DQO_{min}= 2.000\text{mg/L}$), no Aterro da Muribeca, localizado no município de Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco, próximo ao eixo da integração Prazeres - Jaboatão, distando 16 Km do centro do Recife (GRS, 2003). O percolado coletado foi acondicionado em recipientes de poliestireno, previamente lavados com água destilada e, na ocasião da amostragem, relavados com o próprio chorume a ser coletado.

Foram realizadas 4 (quatro) amostragens de percolado em tempos diferentes, no período de abril a setembro. Cada coleta, de 100L, era imediatamente conduzida ao laboratório, nos recipientes hermeticamente fechados, e armazenada em CNTP (Condições Normais de Temperatura e Pressão), em lugar seco e escuro. Todos os testes e processos analíticos foram realizados no prazo de 40 dias após a data da coleta.

Com o passar do tempo, o percolado estocado nos recipientes de poliestireno passou a ter uma característica bastante turva e escura, com odores fétidos acentuados, típico do processo de digestão anaeróbia (chorume velho). De acordo com os valores de pH encontrados, e pela forte liberação do biogás, provavelmente o chorume utilizado nos experimentos se encontrava numa fase de fermentação metanogênica. Nessa fase há a decomposição dos produtos da fermentação ácida que são convertidos em metano (CH_4), substâncias húmicas recalcitrantes e água (Schalch, 1984).

Caracterização do blend caulínico depurante

A matéria-prima utilizada no processo de georremediação, corresponde a um *blend* caulínico industrial (CC = B3A, referência industrial), na forma de “espaguete”. A análise química do *blend* caulínico (Tabela 1) permitiu determinar que esse produto, estequiometricamente, é composto por: 90% de caulinita (com traços de muscovita), 4% de fração residual de minerais pesados (ilmenita, goethita e apatita), 4% de MO e 2% de quartzo.

Tabela 1 - Análises químicas do *blend* caulínico (CC = B3A). Fonte: Actlabs, Ontario-Canada (2005)

%											ppm					ppb										
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	PF	Ba	Sr	Zr	V	As	Br	Co	Cr	Hf	Th	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
44,04	35,5	2,46	0,21	0,07	0,07	0,16	0,578	0,25	<0,01	16,39	833	262	112	148	18	5	<1	116	2,9	37,3	0,7	7	6	93	13	53

Quanto às suas características físicas, o *blend* CC apresenta-se com alto teor de colóides (70%), constituindo um material de excelente uniformidade (Tabela 2).

Tabela 2 – Análise do tamanho das partículas do *blend* CC (valores médios)
Fonte: Caulim Nordeste S/A, 2007

Resíduo máximo #325	Unidade	CC = B3A
< 20 μm	%	98,8
< 10 μm	%	97,6
< 5 μm	%	93,6
< 2 μm	%	83,9
< 1 μm	%	71,7
< 0,5 μm	%	53,8
Área Superficial Específica (BET)	(m^2/g)	21,0
Índice Azul Metileno	(meq/100g)	5,5

Caracterização do aditivo de cal depurante

O aditivo utilizado na georremediação aditivada (processo GAD) foi uma cal hidratada magnesiana, tipo CH-III, com a finalidade de remover a cor (reduzindo conseqüentemente a turbidez) e MP do chorume. A cal hidratada resulta de um processamento industrial a partir da calcinação de rochas carbonáticas, a temperaturas entre 850 a 1200°C (Pezente, 2007).

Procedimentos laboratoriais: processo de Georremediação Aditivada (GAD)

Na preparação das polpas foram utilizadas proporções de 100, 200 e 400g de *blend* caulínico CC (com aditivo = GAD), respectivamente), para cada litro de chorume. Indiferentemente das relações custos/benefícios, as proporções testadas tiveram como objetivo verificar as performances do tratamento em função de quantidades variáveis do *blend*, a fim de se visualizar a quantidade *ótima* dessa fração sólida no processo.

O tempo padrão de preparação da polpa foi fixado em 10-15 minutos a 800 rpm, em *mixer* eletrônico (Figura 1), conforme avaliações empíricas acerca do “ótimo” operacional para esse procedimento. Ato contínuo, cada polpa processada várias vezes (mesma amostra) foi submetida à passagem em filtro a vácuo (Figura 2), dotado com papel de filtro 90 (poro máximo = 22,4 μm ; poro médio = 13,2 μm), recuperando-se, separadamente, também em duplicatas, as frações sólidas (retidas no filtro, e aqui denominadas LMIX-100, LMIX-200 e LMIX-400) e as correspondentes frações líquidas residuais (FRL's).



Figura 1 – Agitador eletrônico Ika-Werke, modelo Eurostar digital, para líquidos semi-viscosos



Figura 2 – Filtro a vácuo Primar (deslocamento de 48 L/min) com dois kitassatos acoplados em seqüência, e um filtro a vácuo de tela metálica B8A Denver Lab Filter.

As alíquotas dos LMIX's foram desidratadas em estufa, sob temperatura de 60°C, no prazo de 96 horas. O material desidratado foi pulverizado, em cadinho de porcelana, 100% passante na malha de 100 mesh, para análises em laboratório. Alíquotas de 10g desse LMIX foram destinadas ao ACTLABS (Activation Laboratories, Ontário, Canadá) para determinação dos óxidos fundamentais e mais 40 elementos traços. Outras alíquotas (1g) foram destinadas ao Laboratório de Materiais Avançados (LMA/Dep. de Física/UFPE), para análises DRX, visando-se a identificação qualitativa das principais frações minerais, antes e após o processamento com chorume. Finalmente, alíquotas de 150mg foram expedidas para Central Analítica (CA/Dep. de Química Fundamental/UFPE) para análises C-N-H-S, realizadas por cromatografia gasosa em um Analisador Elementar Carlo Erba, modelo EA-1110.

Dois litros de cada FRL (quantidade resultante do processamento de 3L de percolado bruto), assim como dos percolados *in natura* do *input* ao ACM, foram enviados para análises físico-químicas no LAMSA – Laboratório de Análises Minerais, Solos e Água da UFPE. Essas análises (DBO, DQO, pH, cor, turbidez, alcalinidade, dureza, sólidos e MP) foram também realizadas conforme procedimentos recomendados pelo “21th Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2005)”.

RESULTADOS EXPERIMENTAIS E DISCUSSÃO

Aplicação do processo GAD no percolado bruto (*input*)

As pesquisas foram conduzidas tomando-se como opção a preparação de polpas com concentrações sólido-líquido de 200g de *blend* caulínico aditivado / L de percolado (Tabela 3), com intuito de aproveitar a fração residual sólida do processo GAD. O ponto de partida para escolha da quantidade do aditivo foi os estudos de Picchi *et al.*, (1988), que apontaram um teor de 10% de cal hidratada como “ótimo” economicamente viável para confecção de tijolos prensados solo-cimento.

Tabela 3 - Preparação das amostras para análises laboratoriais (GAD)

Amostras	Aditivo (%)	Blend	FRL	LMIX
(0)	-	-	-	-
(1)	10	CC (90-10)	FRL-200(90-10)	LMIX-200(90-10)
(2)	25	CC (75-25)	FRL-200(75-25)	LMIX-200(75-25)
(3)	R*(25)	CC (75-25)	FRL-400(75-25)	LMIX-400(75-25)

Nota*: (0) = Chorume bruto (*input*) e R* = Reprocessado

A escolha do aditivo Ca(OH)₂ baseou-se nas indicações de Cincotto (1977), Picchi *et al.* (1988), e Alves *et al.* (2006), que apontaram propriedades de forte poder de coagulação para esse composto e, inclusive, altas performances nas reduções de turbidez e de MP de percolados (vide Tabela 5). De fato, Alves *et al.* (*op cit.*) comprovaram que a utilização de hidróxido de cálcio, associado à bentonita, pode remover de 70 a 90% da cor e turbidez de chorumes. Na realidade, a cal hidratada não atuaria apenas como coadjuvante, mas funcionaria como coagulante capaz de “quebrar” radicalmente estruturas orgânicas complexas (por exemplo: as substâncias húmicas) em curto espaço de tempo (10-15 min) e, inclusive, provocar a adsorção de espécies metálicas no caulim.

Os resultados analíticos produzidos sobre o chorume bruto (*input*), coletado no período de estiagem (concentrado e em condição anaeróbia extrema), tratado pelo processo GAD confirmaram, efetivamente, que a incorporação de Ca(OH)₂ possibilitou o aumento de eficiência na eliminação de MO, dramática remoção de amônia e de óleos e graxas, resultando em flagrante melhoria na qualidade de efluente tratado (Tabela 4). Tomando-se como referência a “amostra 2”, constatando-se que a DBO foi reduzida em 84%, a DQO em 47%, a amônia em 94,3%, e os óleos e graxas em 70,4%.

Tabela 4 - Caracterização química das FRL's de *input* com *blend* caulínico aditivado. Fonte: DEQ/UFPE,2007

Amostras (GAD)	DBO (mg O ₂ /L)	DQO (mg O ₂ /L)	pH	Óleos e graxas mg/L	SDT* mg/L	SDV* mg/L	SDF* mg/L	N-NH ₃ * mg/L
(0)	3.270,3	3.445,5	7,95	71,0	10.436,0	1.690,0	8.746,0	958,0
(1)	592,4	2.161,2	11,66	51,0	8.163,0	1.098,0	7.065,0	105,5

(2)	509,2	1.801,0	11,70	21,0	7.402,0	1.331,0	6.071,0	54,1
(3)	431,5	1.587,0	12,29	9,0	7.891,0	954,0	6.937,0	6,32

Nota*: SDT (Sólidos Dissolvidos Totais); SDV (Sólidos Dissolvidos Voláteis); SDF (Sólidos Dissolvidos Fixo); N-NH₃ (Nitrogênio Amoniacal). (Análises em Triplicatas).

Na amostra de reproprocessamento (amostra 3, Figura 3) foram obtidos os melhores resultados no que tange a redução de cor e turbidez ($\geq 95\%$). Apesar disso, essa opção não é indicada para um fluxograma de tratamento porque a fração sólido-líquido (400g de *blend* aditivado/L de chorume) ultrapassa limite operacional ótimo do filtro-prensa. Além disso, os consumos do produto depurante e de energia seriam duplicados, restando ainda os problemas relativos a uma quantidade muito maior de LMIX. No entanto, a amostra 2 teve também uma satisfatória redução da cor e turbidez (Figura 3) e uma significativa redução de MP, conforme dados apresentados na Tabela 5 (com aditivo).

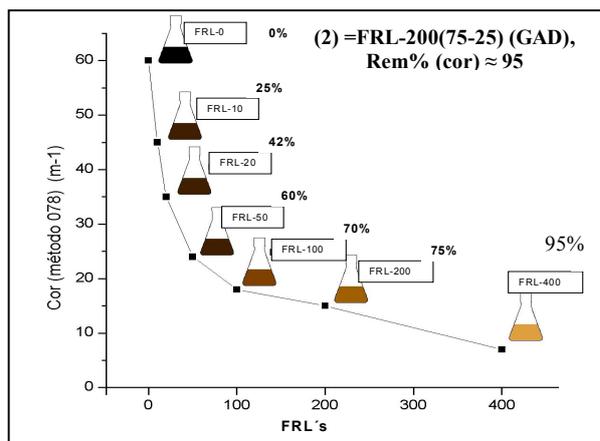
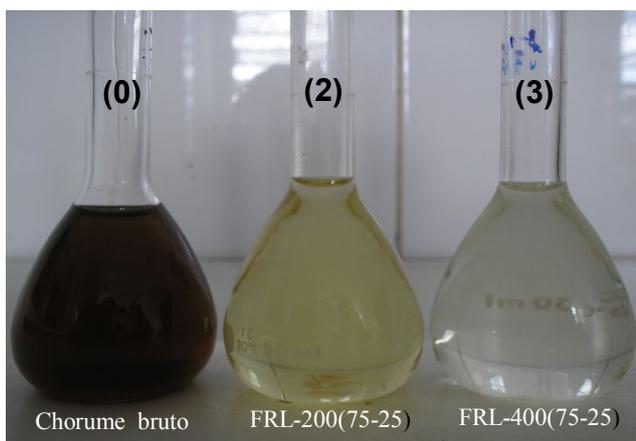


Figura 3 - Redução da cor e turbidez no processo GAD

O maior entrave do processo GAD é o pH das FRL's. Os permeados exibem alcalinidades elevadas (pH>11) em função de sais dissolvidos, necessitando de correção para que o efluente possa ser descartado em um corpo hídrico, de acordo com os padrões CONAMA (2005). Contudo, esse é um fator pouco preocupante, porque existem técnicas, inclusive de baixos custos, que asseguram a solução desse problema, sendo a diluição um método alternativo simples e bastante eficaz. Seguramente, o mais importante é saber que esse processo representa 33,3% da fração líquida bruta gerada (chorume bruto), o qual deixaria de ser descartado no corpo receptor, ou mesmo ser lançado de volta no aterro (recirculação).

Tabela 5 - Remoção de MP em permeados bruto e tratado no experimento (2)

Amostras	G = FRL-200, (ppm=mg/L), SEM aditivo (*)			GAD = FRL-200 (75-25), (mg/L), COM aditivo (**)			
	Bruto	Tratado	%Rem	MP	Bruto	Tratado	%Rem
Zn	0,36	0,42 ↑	-	Zn	0,410±2	0,184±1,2	95,5
Cu	0,36	0,29	19,4	Cu	0,118±4	0,013±3,2	89,0
Cd	0,07	0,15 ↑	-	Cd	<0,005	<0,005	-
Pb	2,21	3,00 ↑	-	Pb	<0,2	<0,2	-
Cr	-	-	-	Cr	0,216±5	0,0194±3,0	91,0
Ni	3,11	2,08	33,1	Ni	0,328±6	0,108±2	67,1
Hg	-	-	-	Hg ⁽⁺⁾	0,421±0,040	0,491±0,010 ↑	-

Nota: (*) = LAMSA-UFPE (2006); (**) = UCA-Espanha (2007); (+) = ppb



1º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

GRAMADO-RS

12 a 14 de junho de 2018

De certo, considerando o percolado bruto um líquido altamente recalcitrante, o processo de georremediação GAD foi efetivo em retirar MP. O percentual de remoção variou de 67,1% a 95,5% de espécies metálicas perigosas no chorume bruto (Tabela 5). Há que se destacar, entretanto, que o tratamento com a caulinita não destrói os metais, mas possibilita uma mudança de fase (as espécies metálicas passam do estado dissolvido para fase adsorvida na fração residual sólida).

Outra flagrante constatação é que a georremediação não teve nenhum efeito no mercúrio (Hg). Esta espécie metálica passou incólume no processo, conforme atesta a Tabela 5. Esse fato pode ser explicado através dos estudos de Viraghavam e Kapoor (1994) que investigaram o efeito do pH na adsorção do mercúrio presente em um efluente industrial pela bentonita (alta CTC), uma esmectiva, na forma sódica. De acordo com essa pesquisa, observou-se a adsorção do Hg numa faixa de pH de 2 a 7,5, sendo que a taxa máxima de remoção ocorreu na faixa de pH entre 3,0 e 3,5, enquanto que para valores acima de 6,5 foi observada a precipitação do Hg no meio reacional (Viraghavam e Kapoor, *op. cit.*).

Observou-se, também, que o percentual de carbono adsorvido (acréscimo) na fração residual sólida (sem e com aditivo) do LMIX-200 e LMIX-200(75-25) em relação ao *blend* caulínico puro (CC) foi de 34% e 369,21%, respectivamente. Tal constatação confirma o poder de depuração da caulinita aditivada na remoção da MO, cuja eficiência aumenta drasticamente com a adição de um coagulante (cal hidratada).

VIABILIDADE TÉCNICA DO PROCESSO DE GEORREMEDIAÇÃO ADITIVADA (GAD)

Como já enfatizado, os sistemas biológicos tradicionais (lodos ativados, filtros biológicos, lagoas de estabilização, etc.) costumam ser bastante utilizados no tratamento de uma variedade de efluentes, inserindo-se nesse universo os percolados de aterros de RSU. Estes métodos têm *comprovada eficiência* na depuração de *águas residuárias domésticas (esgoto)*. No entanto, deixam a desejar quando aplicados no tratamento de chorume, em função de uma série de inconvenientes já exaustivamente discutidos. Em função disso, muitos estudos têm sido realizados na tentativa de se desenvolver novas tecnologias para tratamento de lixiviados de RSU, com o intuito de minimizar o volume e os impactos resultantes do descarte desse efluente potencialmente contaminante na Natureza. Várias técnicas foram testadas ao longo das últimas décadas. Entretanto, a grande maioria dos experimentos esbarra em algum item do trinômio *eficiência, competitividade e operacionalidade*.

Equipamentos básicos necessários para operação do processo GAD

É importante destacar que todo o fluxograma do processo poderá ser executado por equipamentos disponíveis no mercado brasileiro. Essa viabilidade operacional e reduzido tempo de processamento é um diferencial bastante atrativo do método em relação às outras tecnologias.

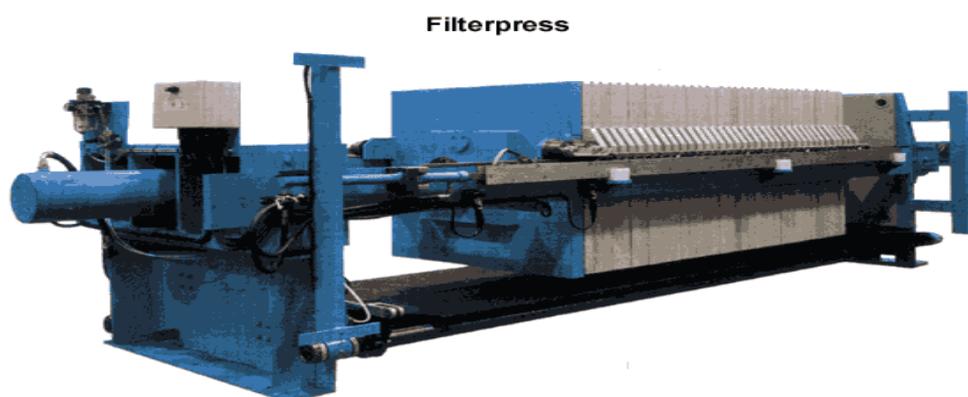
Formação da polpa (mixer industrial)

O *mixer* é a unidade do fluxograma de tratamento responsável pela formação da polpa (fluido semi-viscoso). Esta unidade nada mais é que um tanque-reservatório (ou lagoa) criteriosamente dimensionado(a) para receber uma determinada vazão de percolado bruto (a ser tratado) e uma certa quantidade de *blend* caulínico aditivado, os quais serão submetidos a uma rápida e intensa energia de mistura, proporcionada por potentes agitadores com haste e hélice, num tempo de aproximadamente 10-15 minutos.

Separação sólido-líquido da polpa (Filterpress)

O mecanismo do *filterpress* (filtro prensa) é caracterizado pelo seguinte processo de filtração (<http://www.solidliquid-separation.com/>): 1) O filtro prensa (Figura 4) consiste em uma cabeça e seguidor que contêm entre si um pacote de placas retangulares verticais apoiadas pelo lado ou sobre vigas. A cabeça serve como um extremo fixo na qual os tubos de alimentação e filtrado são conectados. O seguidor move-se ao longo das vigas e comprime as placas juntas durante o ciclo de filtração, através de um mecanismo hidráulico ou mecânico. Cada placa é revestida com um pano filtrante em ambos os lados e, uma vez apertadas lado a lado, elas formam uma série de câmaras que dependem do número de placas. As placas geralmente têm uma porta de alimentação central que atravessa toda a extensão do filtro prensa, de forma que todas as câmaras do conjunto de placas estão interconectadas e funcionam sob pressão; 3) Do mesmo modo, quatro aberturas de canto conectam todas as placas e coletam os filtrados mãe (FRL) e de lavagem (limpeza) em uma *descarga fechada* para saídas que são localizadas no mesmo lado que a entrada de alimentação. Alguns filtros prensa têm placas que dispõem de torneiras no seu lado mais inferior, de forma que o filtrado (FRL) fluirá em uma *descarga aberta* para uma calha e

serve como *amostrador* da condição do pano filtrante, pela claridade do filtrado que atravessa cada câmara. A fração residual sólida (LMIX) ficará retida entre a série de câmaras filtrantes, sendo posteriormente expurgada por gravidade quando houver o alívio de pressão e recuo das placas; 4) Os Filtros prensa se aplicam melhor nas seguintes circunstâncias: a) Quando é requerido um conteúdo muito baixo de umidade, para a secagem térmica da torta ou incineração; b) Quando é requerida alta claridade do filtrado, para aplicações de polimento; c) Quando é requerida a liberação da torta auxiliada por compressão; e d) Quando grandes áreas de filtração são requeridas, num espaço limitado; e 5) Os Filtros prensa são construídos para pressões operacionais de 7, 10 e 15 bar para compressão da torta, e os maiores têm placas disponíveis de 2 por 2 metros. As placas do filtro-prensa estão disponíveis em vários materiais de construção como ferro fundido, liga de alumínio, polipropileno de alta densidade e PVDF.



Click the Back button to return

Figura 4 - Vista geral do filtro prensa

Aproveitamento da fração residual sólida (LMIX)

A torta resultante do desagumamento da polpa no filtro prensa seria batizado de LMIX (*leachate mixed*), de forma semelhante ao obtido pelo filtro a vácuo (bancada, Figura 6). Esse material descartado do processo de filtração deverá ser encaminhado para unidade de secagem (industrial ou natural), objetivando a remoção da umidade remanescente. Recomenda-se que esse resíduo após a secagem seja enviado para indústria com uma umidade máxima em torno de 5%.

De acordo com o parecer fornecido pela Nassau, apesar de algumas limitações, há viabilidade de uso do LMIX-200(75-25) na indústria de cimento, sendo o co-processamento uma rota de processo atrativa para destinação adequada para esse tipo de resíduo. Além de contribuir com matéria-prima industrial (grande quantidade de resíduo gerado no processo GAD), os metais pesados removidos do percolado seriam complexados (imobilizados) na farinha do cimento, ao serem submetidos a elevadas temperaturas (1.450°C).

Quanto ao aproveitamento do LMIX como matéria-prima para confecção de **tijolos prensados sem função estrutural**, os resultados preliminares apontam esta via como uma nova rota de pesquisa, pela possibilidade de se colocar à disposição um material de construção alternativo, em grande quantidade, destinado a habitações de interesse social via projetos de autoconstrução (mutirão), além de ser uma tecnologia limpa que dispensa calcinação .

Utilizou-se apenas um único traço da mistura cimento-solo-resíduo-água (5% cimento, 6 kg de solo, 20% LMIX_{adit} e 900mL água) nos testes preliminares, contendo uma baixa quantidade de cimento, considerado mínimo pelos especialistas da área. O objetivo era tão somente indicar outra rota alternativa que possibilitasse o uso desse resíduo. Os resultados obtidos nos experimentos não obedeceram a todos os itens recomendados pela ABNT NBR-10834 (1994), mas são indicativos de que é possível otimizar a qualidade dos tijolos mediante o aumento do teor de cimento. Dentre as vantagens do LMIX nessa tecnologia destacam-se a facilidade de moldagem (presença da cal) e estética dos tijolos, especialmente se estes forem envernizados (Figuras 5 e 6). Outros traços podem ser testados, variando as características do solo e seu preparo, tipo de cal do aditivo, pressão e compactação, cura, umidade e, principalmente, o teor de cimento. Novos testes podem ser direcionados nesse sentido, na tentativa de melhorar as características físicas do produto (resistência à compressão, tração e durabilidade), normatizar a segurança do processo de manipulação desse material, bem como a

segurança aos usuários das edificações construídas com esses elementos construtivos. Os experimentos deverão contemplar principalmente os ensaios de resistência, durabilidade, absorção e lixiviado. Este último será imprescindível para mensurar o nível de contaminação liberado pela argamassa dos tijolos.

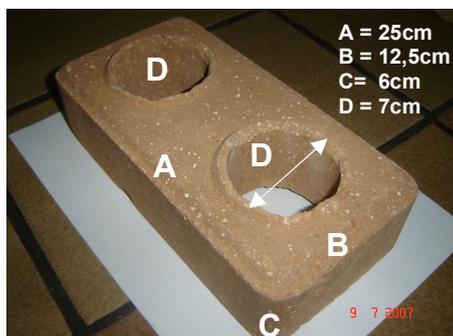


Figura 5 – Dimensões dos tijolos prensados



Figura 6 - Encaixe e montagem da alvenaria não estrutural

Fluxogramas possíveis para tratamento de percolados (GAD)

Inequivocadamente, os resultados da pesquisa representam um avanço no que concerne o sistema de tratamento convencionalmente adotado em ETP's brasileiras. Pode-se considerar a perspectiva de êxito técnico, uma vez que o processo de georremediação (GAD), mostrou-se eficiente na função de provocar a degradação de parte substancial da MO que, no caso da ETP da Muribeca, tem conseguido passar incólume no tratamento via cepas bacterianas (ETP da Muribeca = Sistema de Lagoas de Estabilização).

Além de perspectivas de uma favorável relação custo/benefício ambiental, essa metodologia, testada em condições de *input* (chorume bruto), revelou uma performance compatível excelente em termos de cor, turbidez, eliminação das substâncias recalcitrantes e MP presentes no percolado. Pode-se considerar bastante plausível que os resultados obtidos com essa tecnologia possa permitir a adequação de novos fluxogramas que serão aqui sugeridos. Dentro da ótica de se conceber alternativas de tratamento para um dado efluente, estas propostas apresentam-se como viáveis e estarão em perfeita sintonia com as práticas adotadas em ETP's do primeiro Mundo.

SITUAÇÃO 1: A georremediação (GAD) pode ser implantada diretamente à jusante do aterro sanitário (AS) recebendo a vazão de percolado bruto. Após o tratamento nas suas unidades (*mixer + filterpress*), parte da fração residual líquida (FRL) segue para uma unidade de correção do pH (tanque de diluição, por exemplo) antes de ser descartada no corpo receptor, com DBO e DQO bem reduzidas. A outra parcela pode ser recirculada (R) para o AS, diminuindo assim, ainda mais, a vazão de descarte. A fração residual sólida (LMIX) resultante do processo será encaminhada para um pátio de secagem seguida de armazenamento, donde seria posteriormente transportada para indústria (cimenteira), ou ainda para uma fábrica de tijolos prensados, que poderia ser instalada na própria estação de tratamento.

SITUAÇÃO 2: A georremediação (GAD) funcionaria como pré-tratamento ao sistema biológico tradicional (lagoa com inoculação, por exemplo). A inoculação se faz necessário e é imprescindível porque o uso da cal (bactericida) no processo GAD reduz drasticamente a população bacteriana presente no percolado. A idéia proposta nessa opção seria reduzir previamente a cor, turbidez, MP do percolado bruto e corrigir o pH da FRL resultante do processo, para disponibilizar às cepas bacterianas, na unidade seguinte, um afluente de melhor qualidade, com boas chances de ser digerido pela colônia bacteriana inoculada na lagoa de estabilização (lodo proveniente da estação de tratamento de esgoto, por exemplo), graças ao clareamento da massa líquida e pouca concentração de espécies metálicas nocivas ao metabolismo bacteriano. O fluxo de resíduos seria o mesmo da situação 1.

SITUAÇÃO 3: Poder-se-ia utilizar o processo GAD como pós-tratamento de um sistema convencional de lagoas de estabilização (sem inoculação). Esse arranjo funcionaria como polimento (tratamento terciário) para o percolado pré-descarte das lagoas, melhorando sua qualidade antes do descarte final no corpo receptor. No entanto, recomenda-se que essa configuração seja adotada no caso de ampliação e otimização de ETP's já existentes.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem as seguintes conclusões, interessando, sobretudo, a viabilidade técnica da tecnologia proposta, seja como pré-tratamento ou complementação aos fluxogramas convencionais praticados nas ETP's, seja como visualização para um processo alternativo:

1. O desempenho do *blend* caulínico aditivado mostrou-se eficiente na função de provocar a degradação de parte substancial da MO recalcitrante, passante no tratamento via cepas bacterianas na ETP da Muribeca;
2. A condição LMIX-200(75-25) teve uma boa eficácia, atuando diretamente no percolado bruto (*input*), sendo indicada para um pré-tratamento e/ou tratamento alternativo, conforme fluxograma proposto (situação 1);
3. No tocante aos parâmetros analisados na georremediação (estudo de caso), destaca-se o *blend* caulínico aditivado pela performance de depuração (processo GAD). Além da excelente remoção de MP perigosos (faixa de 67-95%), DBO (87%), DQO (54%), óleos e graxas (70,4%), amônia (94,3%), redução volumétrica do percolado bruto (33,3%) e remoção da fração supracoloidal do chorume bruto (>95%), a aplicação do aditivo removeu substancialmente a cor e turbidez (>90%), o que favorece o tratamento complementar (polimento) do percolado pelos processos biológicos convencionais existentes;
4. Sendo o permeado do processo GAD muito alcalino (pH= 10-12) precisa de correção para permitir que este efluente (FRL) possa ser descartado no corpo hídrico, de acordo com os padrões de lançamento exigidos pela legislação ambiental. Considerando este fato uma limitação do processo, pode-se afirmar com segurança que a alcalinidade elevada tem solução, uma vez que existem técnicas convencionais que fazem esse tipo de trabalho, sendo a diluição um método alternativo. Nesse caso, adicionalmente, a diluição melhoraria ainda mais a qualidade do efluente, reduzindo a concentração de DBO, DQO e metais pesados remanescentes;
5. O volume tratado em cada operação corresponderia a cerca de 5,3 dias de *input* de percolado bruto na ETP padrão (GAD), considerada uma vazão média de 172,8 m³/dia (2L/s), suficiente para preencher com folga (V=915,84m³) uma das três lagoas LPB's (1, 2 ou 3) com capacidade útil de aproximadamente 974 m³ (43,30m x 15m x 1,5m), destinadas ao armazenamento e equalização do sistema. A preparação da polpa seria efetivada no prazo de até uma hora, enquanto o tempo útil de operação para a ativação da emulsão ocuparia não mais que 10 a 15 minutos. O volume de FRL-200(75-25) gerado em cada operação seria de 610,86m³, o que corresponde uma redução em torno de 33% de chorume bruto descartado;
6. O procedimento em *filterpress* implicaria na necessidade de secagem do resíduo e estocagem de 213,79 toneladas por cada procedimento (operação) da fração sólida recuperada (LMIX), tomando como padrão o *blend* caulínico aditivado (75-25), até níveis ideais ≤ 5% de umidade. De acordo com os resultados, poder-se-ia considerar que sua utilização seria factível para produção de farinha de clínquer para cimento, e/ou como matéria-prima para tijolos prensados.
7. Nas condições de LMIX-200(75-25) e, em se considerando aproximadamente 6 (seis) procedimentos/mês (operação intermitente por batelada), o consumo de *blend* caulínico (B3A, espaguete) e cal hidratada seriam da ordem de 769,32 ton/mês e 256,42 ton/mês, respectivamente. O custo dessa matéria-prima representaria uma repercussão de R\$15,74 no IPTU anual do contribuinte, considerando-se um universo de 300.000 unidades habitacionais pagantes com média de 5 pessoas/habitação, para uma população correspondente a 1,5 milhão de pessoas. Esse cálculo foi feito para seguinte cotação de preço da matéria-prima: CC=R\$345,00/ton e CH = R\$0,50/Kg, em 19.07.2007.
8. A viabilidade técnica do processo GAD está explícita diretamente no tempo de processamento e qualidade do efluente tratado, merecendo destaque a drástica remoção de MP perigosos, que normalmente contribuem com o passivo ambiental acumulativo nas técnicas tradicionais. Além dessa grande vantagem, o sistema permite um controle operacional de tratamento do efluente, independentemente das condições climáticas, cepas bacterianas e da presença de substâncias recalcitrantes presentes no percolado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994). **Bloco Vazado de Solo-Cimento Sem Função Estrutural**. São Paulo: ABNT, NBR 10834.
2. ALVES, I. R. de F. S.; SILVA, F. M. S.; LINS, C. M. M.; LINS, E. A. M. e SOBRINHO, M. A. da M. (2006). **Tratamento de Chorume por Coagulação/Floculação**. In: VIII Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Fortaleza: ABES, setembro.



1º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

GRAMADO-RS

12 a 14 de junho de 2018

3. APHA (2005). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association, 21th Edition, Washington DC.
4. CINCOTTO, M. A. (1977). **Estudo da Composição Química da Cal Hidratada**. São Paulo: EPUSP. Dissertação de Mestrado.
5. GRS, GRUPO DE RESÍDUOS SÓLIDOS (2003). **Estudos para o Conhecimento do Meio Físico da Área de Ampliação do Aterro da Muribeca**. Recife: Geotecnia/UFPE. Relatório Técnico, 18p.
6. HALBERTHAL, J. **Engineering Aspects in Solid-Liquid Separation**. <http://www.solidliquid-separation.com/>. Acesso em: 19 de dezembro de 2007.
7. PEZENTE, J. H. **Cal nas Argamassas**. <http://www.escolher-e-construir.eng.br>. Acesso em: 20 de maio de 2007.
8. PICCHI, F. A.; CINCOTTO, M. A.; OLIVEIRA, A. A. e GUIMARÃES, J. E. P. (1988). **Tijolos Solo-Cal uma Opção para Construção Civil**. Rev. Tecnologia, setembro, p. 09-13.
9. VIRAGHAVAN, T. and KAPOOR, A. (1994). **Adsorption of Mercury from Wastewater by Bentonite**. Appl. Clay. Sci., n. 9, p. 31-49.