

6^oSSS

Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis

ANAIS

- VOLUME 4 -
Sustentabilidade

Organizadores

Prof. Dr. Cristiano Poletto – UFRGS (Presidente)

Prof.^a Dr.^a Cristhiane Michiko Passos Okawa – UEM

Prof. Dr. Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves – UFTM

ANAIS do 6º SIMPÓSIO SOBRE SISTEMAS SUSTENTÁVEIS

- VOLUME 4 -
Sustentabilidade

Copyright © 2021, by Editora GFM.

Direitos Reservados em 2021 por **Editora GFM.**

Editoração: Cristiano Poletto

Organização Geral da Obra: Cristiano Poletto; Cristhiane Michiko Passos Okawa; Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves

Diagramação: Juliane Fagotti

Revisão Geral: Espaço Histórico e Ambiental

Capa: Juliane Fagotti

CIP-Brasil. Catalogação na Fonte

Cristiano Poletto; Cristhiane Michiko Passos Okawa; Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves (Organizadores)

ANAIS do 6º SIMPÓSIO SOBRE SISTEMAS SUSTENTÁVEIS – Volume 4 – Sustentabilidade / Cristiano Poletto; Cristhiane Michiko Passos Okawa; Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves (Organizadores) – Toledo, PR: Editora GFM, 2021.

562p.: il.;

ISBN 978-65-87570-14-3

CDU 502.3/.7

É AUTORIZADA a livre reprodução, total ou parcial, por quaisquer meios, sem autorização por escrito da Editora ou dos Organizadores.

USO DE FILTRO DE CARVÃO ATIVADO EM POÇO DE INFILTRAÇÃO PARA RETENÇÃO DE CONTAMINANTES METÁLICOS PRESENTES NO AMBIENTE URBANO

| ID 19410 |

1 Jhonatan Matos de Souza, 2 Cristiano Poletto, 3 Wilkinson Lopes Lázaro, 4 Francisco Lledo dos Santos

1 Universidade do Estado de Mato Grosso, e-mail: jhonatan.matos@unemat.br; 2 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: cristiano.poletto@ufrgs.br 3 Universidade do Estado de Mato Grosso, e-mail: wilkinson.lopes@unemat.br 4 Universidade do Estado de Mato Grosso, e-mail: franciscolledo@unemat.br

Palavras-chave: alagamento; poço de infiltração; filtragem.

Resumo

O alagamento em um ambiente urbano ocorre comumente em decorrência de um ou mais fatores associados, dentre eles, o alto nível de impermeabilização da superfície do solo, o perfil planialtimétrico do terreno (topográfico) ou uma deficiência do sistema de drenagem.

Nas cidades, o alagamento impacta negativamente a vida de seus moradores e transeuntes, que ficam impossibilitados de se deslocarem normalmente durante o fenômeno de chuvas intensas, com potenciais perdas humanas, além de bens materiais, coexistindo ao risco de contaminação através do contato direto ou indireto com a água retida na via.

Essa pesquisa traz, como alternativa estrutural, o uso do poço de infiltração adaptado para a mitigação do alagamento, adjunto de forma paralela ao sistema de drenagem pública de águas pluviais, promovendo a restituição do recurso hídrico ao lençol freático através da infiltração e notadamente, livre de poluentes externos. Deste modo desenvolveram-se testes para a proposição de um sistema de filtragem que permita a retenção de contaminantes e infiltração da água no solo.

Na determinação da eficácia do sistema proposto foram coletadas, para ensaio em laboratório, amostras de água de escoamento superficial durante a precipitação na via em uma região delimitada dentro da cidade de Cuiabá-MT, com a finalidade de detectar contaminantes presentes no ambiente urbano, Ferro (Fe) e metais pesados como Chumbo (Pb), Cromo (Cr), Cadmio (Cd), Zinco (Zn) e Níquel (Ni).

O sistema de filtragem desenvolvido para o poço de infiltração se utiliza de propriedades físico-químicas do carvão ativado. Esse material previsto como uma camada de filtragem teve como critério

a eficiência na retenção de poluentes comparando aos valores obtidos em campo com metais carregados com o escoamento superficial durante a chuva.

Posteriormente, foram definidas especificações técnicas suficientes para uma filtragem satisfatória, permitindo que a quantidade de contaminantes presentes atendam aos limites de concentração considerados seguros, previstos em legislação vigente a saber: resolução CONAMA nº 396 de 7 de abril de 2008, dentre outras.

Introdução

No ambiente urbano o ciclo hidrológico sofre um forte impacto, principalmente devido, à impermeabilização desses espaços, canalização do escoamento, aumento da poluição em decorrência da contaminação do ar e superfícies, além da deposição de material sólido pela população (TUCCI, 2003).

Para Canholi (2014, p. 21), “a urbanização caótica e uso inadequado do solo provocam a redução da capacidade de armazenamento natural dos deflúvios e estes, por sua vez, demandarão outros locais para ocupar”. Segundo o mesmo, a falta de visão sistêmica no planejamento da macrodrenagem é a grande responsável nesse caso.

Durante um período de chuvas intensas algumas cidades sofrem os efeitos de alagamentos que atuam como um impacto negativo sobre a vida de moradores e transeuntes que ficam impossibilitados de se deslocarem normalmente, coexistindo ao risco de contágio por doenças infecciosas e compostos tóxicos através do contato direto ou indireto com a água escoada.

O alagamento pode ser agravado por alguns fatores como, falta de manutenção no sistema de drenagem de águas pluviais e/ou o seu mal dimensionamento para o período dessas precipitações na região, sendo estas ações padronizadas por órgãos gerenciadores como garantia contra riscos de projetos a serem adotados (CANHOLI, 2014).

A partir da década de 90 a ação humana sobre a bacia urbana passou a ser considerada um tema relevante na aplicação de modelos hidrológicos para estimativa de produção de sedimentos e aumento do escoamento superficial (TUCCI, 2002).

O aumento da produção de sedimentos, resultante da retirada da vegetação, acaba em muitos casos é responsável pela obstrução das galerias pluviais, canalizações e a contaminação das águas (GOMES *et al.*, 2015)

Existem dois tipos de ações utilizadas no combate a problemática do alagamento urbano, as medidas estruturais e não estruturais. Sendo consideradas não estruturais atividades que não

envolvam a ação física direta sobre o ambiente, tal como a criação de leis e normas regulamentadoras (CANHOLI, 2014).

A fim de se resolver esse problema social e ambiental é proposto o poço de infiltração como uma medida estrutural para a drenagem de um excedente hídrico que nas vias urbanas promove o alagamento.

Essa pesquisa busca por meio de uma intervenção pontual juntamente ao sistema público de drenagem de águas pluviais, de forma paralela, sem a intenção de substituí-lo, contribuir na resolução de uma problemática regional.

No entanto, a água de escoamento superficial presente na via, destinada aos poços de infiltração podem apresentar muitos contaminantes de origem antrópica. Por esse motivo, necessita passar por um processo de retenção dessa carga poluente através da filtragem, permitindo que o recurso hídrico possa ser restituído de forma segura ao lençol freático.

Elementos Metálicos Presentes no Ambiente Urbano

Segundo Silva (2014) nas águas de drenagem e nos corpos d'água a maior parte dos metais presentes encontra-se complexado com as partículas de menor diâmetro, ou seja, nas mais finas como as argilas. O fato dos metais pesados se agregarem às partículas suspensas e dissolvidas eleva a distribuição dos mesmos sobre a superfície asfáltica e ao longo da bacia hidrográfica.

De acordo com Martinez e Poleto (2011), os metais pesados são parte de nossas atividades cotidianas e muitos deles entram em nosso ambiente urbano como subproduto de atividades econômicas consideradas típicas de cidades em crescimento. Sendo caracterizados na Tabela 1 alguns dos principais metais provenientes da ação antrópica presentes no meio urbano.

Para esta pesquisa, quanto à determinação dos poluentes presentes nas vias urbanas foram selecionados seis elementos metálicos, como Ferro e metais pesados: chumbo, zinco, cádmio, cromo e níquel.

Tabela 2: Exemplo de metais encontrados em ruas urbanas.

Constituinte	Fonte
Chumbo	Escapamento de veículos, pneus, óleo lubrificante, gordura, peças soldadas e tintas
Zinco	Pneus, óleo de motor, gordura e freios. Cobre Galvanizado de metais, uso de pneus, peças de veículos, freios, inseticidas e fiação.
Cádmio	Pneus, escapamento de veículos e inseticidas.
Ferro	Corrosão de veículos, estruturas de aço e partes do motor.
Cromo	Galvanizado de metais, partes do motor e freios.
Níquel	Combustível diesel, óleo lubrificante, galvanizado de metais, freios e pavimento asfáltico.

Fonte: Adaptado de Poleto e Martinez (2011).

Poço de Infiltração

Nas últimas décadas a tendência de adoção de conceitos para o desenvolvimento de soluções de baixo impacto vem sendo estudadas na tentativa de manutenção das condições de equilíbrio do balanço hídrico (REIS e ILHA, 2014).

De acordo com Barbassa et al. (2014) o poço de infiltração é uma técnica compensatória pontual alternativa que têm como função reter a água pluvial escoada.

Vendrame (1998) define o "controle na fonte" de águas superficiais como uma metodologia para controlar o escoamento superficial no meio urbano no seu ponto de origem ou fonte, de forma que a água seja descarregada gradualmente de volta no corpo d'água receptor ou no aquífero simulando processos naturais.

O poço de infiltração surgiu como uma técnica compensatória de microescala, que possui ampla faixa de dimensionamento e características técnicas, que dependem das particularidades locais, tais como regime pluviométrico, características do solo, profundidade do lençol freático e disponibilidade de espaço (BARBASSA et al., 2014).

Filtro de carvão ativado granular

O carvão ativado (C.A) é um material carbonoso poroso, de forma microcristalina, não grafitica, que sofreu um processamento para aumentar sua porosidade interna, sendo tradicionalmente utilizado como adsorvente (BÉGIN *et al.*, 1990). A adsorção pode ser explicada como um fenômeno físico-químico em que o componente em fase líquida ou química é transferido para a superfície de uma fase sólida (MASEL, 1996).

No processo de adsorção física o adsorvato é mantido na superfície do adsorvente por meio de forças de van der Waals podendo ocorrer a formação de camadas com valores aproximados de calor de adsorção, já como um fenômeno químico ocorre através da ligação das moléculas do adsorvato com as da superfície do adsorvente, havendo a troca de elétrons (ARNAUT *et al.*, 2007).

Por suas características específicas o C.A garante um eficiente resultado de adsorção, graças a sua elevada área superficial, estabilidade química, boa resistência mecânica, baixo poder de aglomeração, alto número de sítios ativos, porosidade e seletividade (PENHA, 2009). Dentre outros atributos importantes o material apresenta densidade de 1,3 a 1,5, porosidade 50% e esfericidade de 0,75 (CLEASBY e LOGSDON, 1999).

Esse material possui uma porosidade interna semelhante a uma rede de túneis que se bifurcam em canais menores e através dessa propriedade podendo ser classificada como macro, meso e microporosidade. Após o processo de ativação o material de origem aumenta sua área superficial, geralmente entre 10 e 15 m²/g, para valores acima de 800 m²/g (BÉGIN *et al.*, 1990).

A eficiência da adsorção depende principalmente da concentração inicial de adsorvato, pois influencia na interação entre moléculas a serem adsorvidas e os sítios ativos disponíveis na superfície do adsorvente (SALLEH *et al.*, 2011).

Segundo a União Internacional de Química Pura e Aplicada – IUPAC (1982), os poros podem ser classificados em função do diâmetro:

- Macroporos: acima de 50 nm;
- Mesoporos: de 2 a 50 nm;
- Microporos secundários: de 0,8 a 2 nm;
- Microporos primários: inferiores a 0,8 nm.

Material e Métodos

Coleta de Água de Escoamento Superficial

Essa pesquisa se divide em procedimentos de coleta de campo, preparação de amostras e análise em laboratório, baseando-se em normas técnicas e instruções de ensaio pré-determinadas. As coletas foram realizadas na rua Marilândia localizada no bairro Jardim Renascer na cidade de Cuiabá, estado de Mato Grosso, em superfície asfáltica próxima a valeta, cuja a via, de acordo com parâmetros de classificação funcional de rodovias do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1999) pode ser enquadrada como Coletora Secundária, com tráfego médio de 50 vpd (veículos por dia).

As amostras líquidas foram coletadas durante um período de intensas chuvas no trecho 4 no período de 25/11/2020, 04/12/2020, 06/01/2021, sendo coletadas 10 amostras por dia, ao todo 30 unidades de 300mL.

A água foi colhida próximo a sarjeta através de um tubo de pvc rente à superfície, de diâmetro compatível para o local, facilitando a coleta, possuindo diâmetro de 25mm com fundo tampado via cape e 1m de comprimento, o qual teve posteriormente o conteúdo transferido para um recipiente apropriado de polietileno com tampa, como recomendado por APHA (2015) para esse tipo de contaminação, na preservação da amostra líquida, evitando a sua contaminação externa ou degradação.



Figura 1: Amostras de água coletadas. Fonte: Souza (2020).

Constatou-se o asfalto em processo de deterioração, por falta de manutenção, como uma grande fonte de sedimentos no ambiente. Sendo a recente implantação da rede de abastecimento de água e coleta de esgoto doméstico responsável pelo aumento da produção de resíduos decorrente da obra no local. O ambiente é quase totalmente desprovido de vegetação, sendo a maior parte da superfície impermeabilizada, evidenciando uma rápida ocupação sem planejamento, com exceção do interior de lotes onde na maioria dos casos o solo se apresenta exposto e com pouca ou nenhuma vegetação, geralmente não nativa do bioma de Cerrado.

Como forma de carreamento no local pode ser observado que a ação do vento ocorre de forma intensa e intermitente em alguns dias da semana, durante boa parte do tempo no período da manhã e à tarde.

As chuvas provocam não somente o carreamento de sedimentos, mas também de outros materiais de origem antrópica provocando a obstrução de bueiros. Constatou-se que uma grande quantidade de lixo doméstico é depositada pelos moradores em locais inadequados juntamente com entulho proveniente de construções próximas. As vias de transporte, notadamente as ruas pavimentadas, em muitos pontos denota manchas de óleo, tendo por origem veículos defeituosos.

Detecção de Elementos Metálicos

No estudo de estruturas atômicas e moleculares faz-se uso de radiação eletromagnética através de diferentes técnicas de espectroscopia. Por meio dessas técnicas as alterações sofridas no campo eletromagnético, através do contato com a matéria, podem ser mensuradas com o uso de equipamentos específicos (BORISSEVITCH *et al.*, 2016).

Os métodos espectroscópicos são baseados na quantidade de radiação produzida ou absorvida por moléculas ou átomos de interesse, sendo estes, podendo ser classificados de acordo com a região

medida do espectro eletromagnético, o que incluem os raios gama, raios X, ultravioleta (UV), visível, infravermelho, micro-ondas e radiofrequência (RF) (SKOOG *et al.*, 2005).

A espectrometria é a técnica espectroscópica utilizada para avaliar a concentração ou quantidade de uma dada substância, sendo essas medições realizadas por instrumentos espectroscópicos ou espectrofotômetros (BORISSEVITCH *et al.*, 2016).

Os principais elementos constituintes de um espectrofotômetro são: fonte de luz, o colimador, responsável por direcionar os feixes de radiação, o prisma, que tem a função de fracionar a luz nos comprimentos de onda que a compõem (luzes monocromáticas), a fenda seletora ou monocromador, que permite selecionar uma estreita faixa de comprimento de onda da fonte de irradiação, a cubeta, um recipiente porta-amostras com boa transmitância, o detector, que consiste em uma célula fotovoltaica e o leitor ou microcomputador onde as informações serão analisadas (KASVI, 2018; BORISSEVITCH *et al.*, 2016).

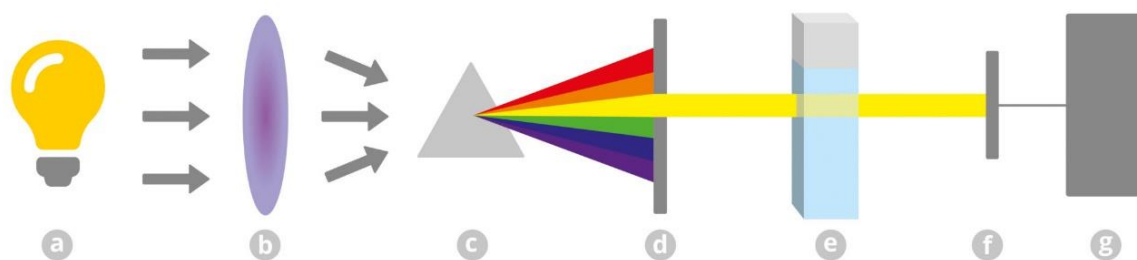
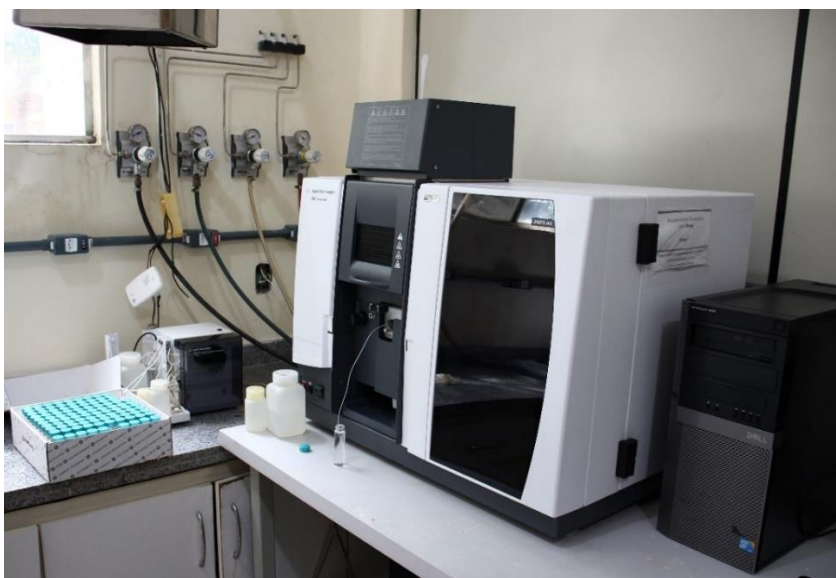


Figura 2: Componentes do espectrofotômetro: (a) fonte de luz, (b) colimador, (c) prisma ou rede de difração, (d) fenda seletora (e) cubeta contendo solução, (f) detector, (g) leitor. Fonte: kasvi (2018).

Para essa pesquisa foi utilizado o equipamento Espectrofotômetro modelo AA 240 FS (F-AAS), que através do processo de absorção atômica em chama, com o princípio de absorção da radiação ultravioleta por parte dos elétrons determinou a concentração dos metais Pb, Zn, Cd, Fe, Cr e Ni presentes em amostras colhidas no ambiente de interesse, vias urbanas. Empregando-se também equipamentos complementares como balança eletrônica de precisão, pipetas milimetradas e frascos como: tubos Falcon e vials de borossilicato com batoque de teflon.



**Figura 3: Espectrofotômetro de Absorção Atômica modelo AA 240 FS.
Fonte: Lázaro (2021).**

De acordo com Skoog e Timothy (2002) o princípio do método de absorção atômica se baseia na atomização do elemento analisado através da chama para aumentar o seu estado de excitação, a lâmpada de cátodo oco utilizada emite um espectro que interage com a amostra, os átomos desse elemento absorvem a energia característica, que é medida e convertida em sinal elétrico permitindo a gravação dessa informação no software do computador para análise. Os métodos analíticos baseados em absorção atômica são altamente específicos pois as linhas de absorção atômica são muito estreitas (0,002 a 0,005 nm) e as energias de transição são únicas para cada elemento.

O método sensível permite determinar quantitativamente e classificar mais de 60 metais ou metaloides. Para muitos elementos o limite de detecção está na faixa de 1 a 20ng/mL ou 0,001 a 0,020 ppm. (SKOOG e TIMOTHY, 2002). Os mesmos autores ainda descrevem a reação na amostra contendo o metal durante o processo de absorção atômica, em que a mesma é nebulizada por um fluxo de oxidante gasoso, misturada com um combustível e levada a chama onde ocorre a atomização, sendo o ar atuante como oxidante podendo atingir temperaturas superiores a 1700 °C. O solvente evapora produzindo um aerossol de partículas sólidas muito pequenas que são em sua maior parte desassociadas resultando em um gás atômico que imediatamente se ioniza gerando cátions e elétrons, podendo também produzir átomos e moléculas, esse conjunto é excitado pelas chamas originando espectros de emissão atômico, iônico e molecular.

Preparação de Amostras

Na preparação de amostra, descrita de acordo com Skoog *et al.* (2002), é necessária que a mesma seja introduzida na fonte de excitação do espectrômetro na forma de solução aquosa, uma vez que muitos materiais como derivados do petróleo e minerais não são solúveis diretamente em solventes comuns, sendo portanto, necessário um tratamento preliminar para obtenção do soluto pronto para ser atomizado.

O aparelho faz a leitura dos metais que estejam livres em soluções aquosas. Para tal, o sedimento passa por um processo de “abertura” no qual o sedimento sofre um ataque ácido, para que os metais complexados às partículas sejam liberados e dissolvidos na solução. (SILVA, 2014).

Para a determinação das concentrações dos metais na água e sedimentos presentes, as amostras aquosas passaram por filtragem em filtros de seringa Milipore® de 0,1 micra. Amostras em branco de 100 filtros limpos foram tomadas como valor de referência, mas todas abaixo do limite de detecção dos metais em estudo. Após a filtragem, as amostras líquidas foram lidas diretamente no F-AAS, em triplicata, sendo o resultado expresso em $\mu\text{g.L}^{-1}$.

Os conteúdos líquidos necessitaram sofrer de um processo de abertura conforme método 3030E (APHA, 2015). O filtrado da água foi digerido em 30ml de ácido clorídrico ultra puro por 24h para dissolução do material sólido. Quando necessário, 1 ml de sulfato de acrilamida foi adicionada a mistura para seu clareamento antes da entrada nas chamas. Uma vez prontas, as amostras foram passadas em triplicata no F-AAS e os valores de concentração foram expressos em $\mu\text{g.L}^{-1}$ para o filtrado e $\mu\text{g.Kg}^{-1}$ de peso seco (P.S.) para os sedimentos

A precisão e exatidão da metodologia foram testadas por meio do emprego de amostras de 2 ppb preparadas da solução padrão comercial. Ainda, fortificadas com quantidades conhecidas do analito (em inglês “spikes”) em 1 ppb, adicionadas as réplicas de cada amostra para a eliminação de interferências introduzidas pela matriz de amostras complexas e comparar os valores amostrais obtidos com o esperado (recuperação) a partir da curva de calibração.

Os limites de detecção do equipamento foram calculados com base na fórmula: $LD = (2 \times 3 \times S) / S$, sendo LD o limite de detecção, S o valor médio de concentração da solução padrão e A o valor médio da absorbância.

Avaliação de Isotermas de Adsorção

Com o uso do F-AAS foram geradas curvas de calibração para adsorção dos metais de interesse através dos ensaios realizados com dosagens previamente estabelecidas e o material adsorvente

(C.A), juntamente as soluções padrões certificadas para esse equipamento, fornecidas pelo Instituto Nacional para Ciência e Tecnologia dos Estados Unidos da América (NIST-USA).

Para geração das curvas foram preparados padrões de 10, 5, 1, 0,5 ppb da solução certificada com concentração de 1.000 mg/g. Os padrões foram passados no equipamento e as curvas geradas com os resultados mensurados dos diferentes padrões.

A Resolução CONAMA nº 396 de 2008 foi utilizada como base para um comparativo dos valores de concentrações de metais presentes nas amostras com os parâmetros aceitáveis para filtragem, adotando valores limites de uso, considerando as exigências de qualidade de água para cada classes como, consumo humano, irrigação, dessedentação animal e lazer.

A Resolução CONAMA nº 430 de 2011 estabelece que, o lançamento de efluente no solo, mesmo que tratado não deve causar poluição ou contaminação das águas superficiais ou subterrâneas, de modo a não conferir características de qualidade em desacordo com as metas progressivas, intermediárias e final de seu enquadramento.

Resultados e Discussão

No procedimento experimental para avaliar o comportamento da adsorção do C.A granular comercial do tipo (mesh) 3x6, o mesmo foi colocado em contato com dosagens periódicas dos metais de interesse em concentrações pré-determinadas, com análise das variações ocorridas. O tempo de contato do C.A com cada elemento foi inferior a 1 hora, mas para uma maior confiabilidade as amostras foram mantidas por 24 horas, não havendo mudanças significativas com relação aos resultados previamente observados. Esse equilíbrio corresponde a concentração na fase fluída e a concentração nas partículas adsorventes em uma determinada temperatura (PERRY, 1998).

Para a análise desses resultados desenvolveram-se as isotermas de Langmuir (L) e Freundlich (F) as quais por meios gráficos permitiram a obtenção de informações sobre o comportamento de adsorção de diferentes concentrações dos metais pesados. Os experimentos se deram com os elementos Pb e Cd, com Zn não podendo ser averiguado por limitações do laboratório utilizado, e não sendo realizadas para Cd e Ni por não serem apresentando dados expressivos ou suficientes no ambiente de coleta de amostras para um resultado consistente (Tabela 2, com ND sendo sinônimo de “não detectado”, ou abaixo do limite de detecção). Os valores de Fe encontrados na água de escoamento podem corresponder ao carreamento do próprio solo do local, não possuindo necessariamente origem antrópica ou podendo aferir contaminação do ambiente devido as baixas concentrações observadas.

Tabela 2: Concentração de elementos metálicos em água de escoamento superficial em via urbana.

Identificação	Data de coleta	Concentração total de metais ($\mu\text{g/L}$ ou ppb)					
		Pb	Zn	Cd	Cr	Ni	Fe
A1	25/11/2020	2,15992	0,877095	0,159718	ND	ND	1,589084
A2	25/11/2020	2,137309	1,047708	0,189036	ND	ND	1,482075
A3	25/11/2020	1,848892	0,941976	0,165407	ND	ND	1,386669
A4	25/11/2020	2,505507	0,778505	0,140464	ND	ND	1,771752
A5	25/11/2020	2,051924	0,427311	0,073076	ND	ND	1,434804
A6	25/11/2020	2,143431	0,730512	0,126024	ND	0,111867	1,679554
A7	25/11/2020	1,772862	0,933944	0,159718	ND	0,1409	1,221305
A8	25/11/2020	0,403819	0,857003	0,151841	ND	0,12765	0,294514
A9	25/11/2020	2,054121	0,055781	ND	ND	ND	1,394963
A10	25/11/2020	2,416346	0,653483	0,116835	ND	0,1109	1,653289
B1	04/12/2020	1,364529	0,621073	0,106212	ND	ND	0,995183
B2	04/12/2020	1,410936	0,728686	0,101512	ND	ND	2,653285
B3	04/12/2020	1,220731	0,643193	0,088823	ND	ND	0,887006
B4	04/12/2020	1,594755	0,531955	0,075429	ND	ND	1,178215
B5	04/12/2020	1,385049	0,269336	ND	ND	ND	0,995183
B6	04/12/2020	1,436018	0,460223	ND	ND	ND	1,010532
B7	04/12/2020	1,178953	0,583268	0,085769	ND	ND	0,812168
B8	04/12/2020	0,280654	0,482392	0,081539	ND	ND	0,151432
B9	04/12/2020	1,36599	0,032555	ND	ND	ND	1,185331
B10	04/12/2020	1,655197	0,38805	0,06274	ND	ND	1,147764
C1	06/01/2021	0,92788	0,343567	ND	ND	ND	0,672599
C2	06/01/2021	0,95207	0,406632	ND	ND	ND	0,669209
C3	06/01/2021	0,800105	0,34945	ND	ND	ND	0,601539
C4	06/01/2021	1,052598	0,294057	ND	ND	ND	0,799341
C5	06/01/2021	0,921057	0,161404	ND	ND	ND	0,620861
C6	06/01/2021	0,990321	0,266247	ND	ND	ND	1,176006
C7	06/01/2021	0,784004	0,343567	ND	ND	ND	0,574936
C8	06/01/2021	0,181264	0,286453	ND	ND	ND	0,100702
C9	06/01/2021	0,915163	0,002477	ND	ND	ND	1,621872
C10	06/01/2021	1,124809	0,208913	ND	ND	ND	1,93851

Fonte: Souza (2021).

A isoterma L pelo método linear para o elemento Pb pode ser observada em sua forma gráfica (figura 4) como uma reta que parte da origem, correspondendo a linha de tendência dos resultados obtidos em laboratório, indicando que a quantidade adsorvida pelo C.A é proporcional a

concentração da solução, sendo C_e/q_e (g L^{-1}) a massa de adsorvente (C.A) por litro de solução (água mais Pb), não evidenciando sua máxima capacidade de adsorção.

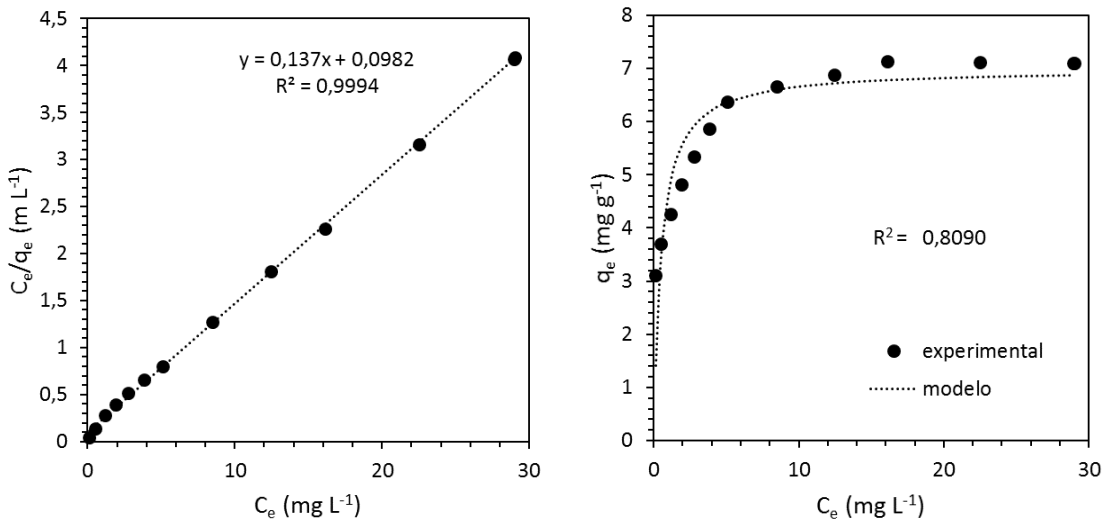


Figura 4: Isotherma de Langmuir linear (Esquerda) e não linear (direita) para adsorção de Pb por carvão ativado. Fonte: Lázaro (2021).

Pelo método não linear da equação L foi obtido o valor máximo de soluto (Pb) retida por C.A (figura 4), $6,98 \text{ mg. g}^{-1}$, tendo início em $1,41 \text{ mg. g}^{-1}$, com o gráfico indicando a linha de tendência no formato côncavo o que significa um processo de adsorção extremamente favorável que atinge o equilíbrio próximo dos $6,77 \text{ mg. g}^{-1}$ e máxima adsorção de $6,98 \text{ mg. g}^{-1}$.

Através da isoterma F pelo método linear para Pb obteve-se uma representação gráfica (figura 5) por meio de logaritmos naturais (\ln) com uma linha de tendência crescente linearizada, não sendo possível definir o valor máximo de adsorção, que se estende infinitamente de modo que a adsorção de C.A aumenta quanto maior for a concentração de Pb (C_e). O valor aproximado de adsorção nesse caso tem início a partir de $1,46 \text{ mg. g}^{-1}$.

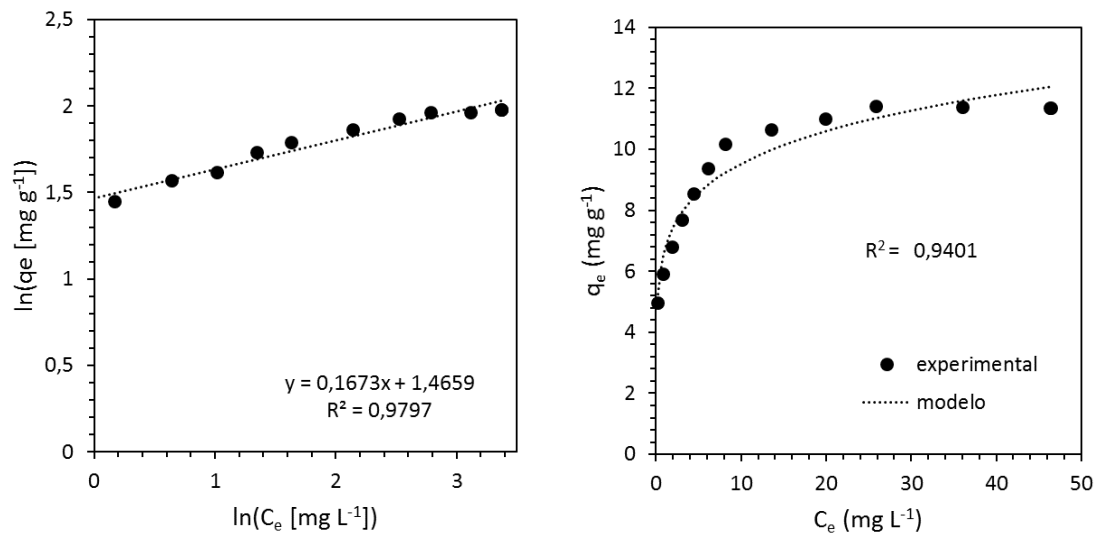


Figura 5: Isotherma de Freundlich linear (esquerda) e não linear (direita) para adsorção de Pb por carvão ativado. Fonte: Lázaro (2021).

Para a isoterma F pelo método não linear a adsorção de Pb (figura 5) obteve uma linha de tendência com início aproximado em $5,25 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ de formato côncavo e ascendente indicando uma situação favorável de adsorção. Apresentando uma linha de tendência que começa a se estabilizar por volta de $11,20 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, com um valor máximo de adsorção acima de $12,05 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$.

Através da isoterma L linear para Cd é possível obter graficamente (figura 6) uma linha de tendência que parte próximo ao ponto de origem no valor de $0,013 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, com capacidade de adsorção de C.A proporcional a concentração do elemento no fluido, não sendo possível determinar o seu valor máximo.

A isoterma L não linear para adsorção de Cd por C.A (figura 6) apresenta uma linha de tendência côncava, indicando um processo considerado favorável com valor inicial de $1,80 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ e máximo de $27,65 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, esse último possuindo uma concentração muito elevada se comparada a outras isotermas L de Pb.

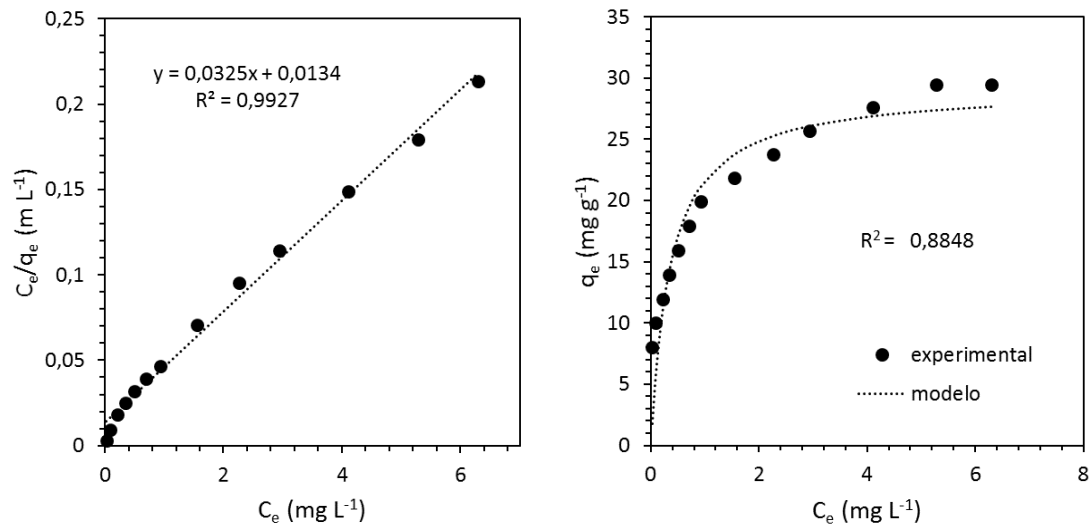


Figura 6: Isotherma de Langmuir linear (esquerda) e não-linear (direita) para adsorção de Cd por carvão ativado.
Fonte: Lázaro (2021).

A adsorção de Cd por C.A pode ser expressa graficamente (figura 7) através da isoterma F linear com uma linha de tendência crescente linearizada por meio de uma operação com logaritmos naturais (ln), demonstrando um comportamento de adsorção proporcional a concentração do elemento, com valor mínimo aproximado de 3 mg. g⁻¹ e máximo 3,38 mg. g⁻¹.

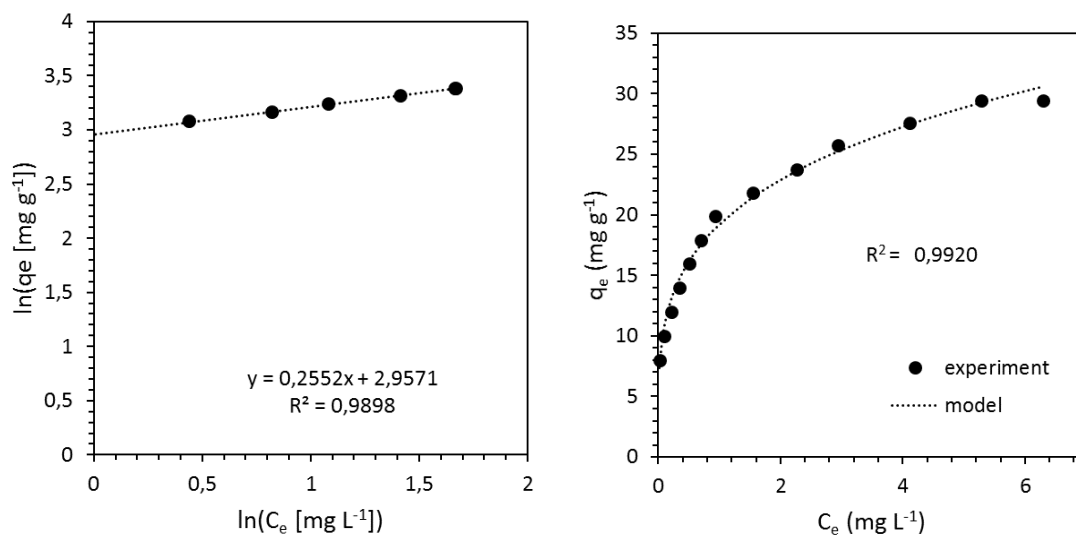


Figura 7: Isotherma de Freundlich linear (esquerda) e não-linear (direita) para adsorção de Cd por carvão ativado.
Fonte: Lázaro (2021).

Através da Isoterma F não-linear para adsorção de Cd por C.A pode-se observar graficamente (figura 7) uma curva que indica uma adsorção favorável do material para a concentração do elemento em solução, com valor mínimo aproximado de $7,40 \text{ mg. g}^{-1}$ e máximo de $30,58 \text{ mg. g}^{-1}$.

Nos ensaios de adsorção de Pb por C.A o modelo de Freundlich apresentou uma maior adequação nos resultados obtidos, possuindo em média valores maiores de R^2 , como 0,9797 e 0,9401, indicando uma baixa diferença entre os dados gerados pelo modelo e os experimentais. Para esse elemento o material possui capacidade adsortiva máxima de $12,05 \text{ mg. L}^{-1}$, o que demonstra uma capacidade em uma escala de grandeza acima da possível carga solicitante, de acordo com o observado nos dados amostrais.

Para a adsorção do elemento Cd o modelo de Freundlich apresenta maior confiabilidade, possuindo em média valores maiores de R^2 , como 0,9898 e 0,9920. Embora não sendo demonstrado de forma significativa, na via urbana observada, através dos resultados amostrais o C.A apresentou uma alta capacidade de adsorção de Cd, com valores aproximados entre $7,40$ e $30,58 \text{ mg. g}^{-1}$, muito acima do esperado, o que representa da mesma forma que o observado para Pb, resultados promissores com capacidade de adsorção medida com uma escala de grandeza acima da possível carga solicitante, atendendo as resoluções já mencionadas.

Comentários finais

O sistema de filtro de carvão ativado granular proposto é um aprimoramento para o poço de infiltração, esse sistema drenante para o ambiente urbano pode chegar a população de forma prática como uma ferramenta alternativa aplicada aos instrumentos de gestão de recursos hídricos, com sua implementação ocorrendo, por exemplo, através de órgãos de saneamento básico com regularização por órgãos ambientais estaduais, o que exigiria um estudo baseado na classe de enquadramento de águas subterrâneas e a diluição de efluente permitida para o local de interesse, pareada a resolução nº 396 de 2008, dentre outras, sem que esse lançamento provoque degradação na qualidade da água do ambiente.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradecemos também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfªÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento e a UNEMAT por todo suporte técnico científico e financeiro prestado.

Referências Bibliográficas

APHA-Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. American Public Health Association, Washington, 23th Ed., 2015.

ARNAUT, L.; FORMOSINHO, S.; BURROWS, H. Chemical Kinetics: From Molecular Structure to Chemical Reactivity. 1a. ed. Amsterdam: Elsevier, 2007. p. 562.

BÉGIN, D.; GÉRARD, A. A.; BRONIEK, E., SIEMIENIEWSKA, G. F.; MARÊCHÉ, J. F.; Pore Structure and Reactivity of Chars obtained by Pyrolysis of Coking Coals. Fuel 78, p.1195, 1999. p. 285, 1990.

BORISSEVITCH, Iouri E.; GONÇALVES, P.J.; SCHABERLE, F.A. Fundamentos da espectroscopia de absorção óptica (Série tópicos de física aplicada a medicina e biologia). São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

BRASIL. CONAMA. Resolução nº 357 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

_____. CONAMA. Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008 Publicada no DOU nº 66, de 7 de abril de 2008, Seção 1, páginas 64-68

_____. CONAMA. Resolução nº 430 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa a Resolução CONAMA nº 357 de 2005.

_____. CNRH. Resolução nº 15 de janeiro de 2001.

CANHOLI, A. P. Drenagem urbana e controle de enchentes. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CLEASBY, J. L.; LOGSDON, G. S. Granular bed and precoat filtration . In: AWWA. Water Quality and Treatment, 5. ed. Denver, USA: AWWA, 1999.

COLLISCHONN, Walter; TASSI, Rutinéia. Introduzindo Hidrologia. Porto Alegre: UFRGS, v. 5, 2008.

FERREIRA, T. S.; BARBASSA, A. P.; MORUZZI, R. Br. Controle de enchentes no lote por poço de infiltração de água pluvial sob nova concepção. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro , v. 23, n. 3, p. 437-446, Junho 2018 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522018000300437&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 22 mar. 2021.

KASVI. Espectrofotometria: Análise da concentração de soluções (16 fev. 2018). Disponível em: <<https://kasvi.com.br/espectrofotometria-analise-concentracao-solucoes/>>. Acesso em: 02 abr. 2021.

MASEL, R. Principles of Adsorption and Reaction on solid Surfaces. Wiley Series in Chemical Engineering. 1 Ed. 1996.

POLETO, C.; MARTINEZ, L. L. G. Sedimentos urbanos: ambiente e água. Holos Enviroments, v. 11 n.1, 2011.

PERRY, J. Manual del Ingeniero Químico, Capítulo 16, Mc Graw Hill, 6 Ed, 1998.

SALLEH, M. A. M.; MAHMOUD, D. K.; KARIM, W. A. W. A.; IDRIS, A. Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: a comprehensive review. Desalination, Amsterdam, v. 280, n. 1-3, p. 1-13, 2011.

SKOOG, D. A; HOLLER, F. J; TIMOTHY, A. Princípios de Análise Instrumental. 5 ed. Porto Alegre: Bookmam, 2002.

SKOOG, D. A; WEST, D; HOLLER, F. J; CROUCH, S. Fundamentos de Química Analítica. Ed. 8. Editora Thomson, 2005.

REIS, R. P. A.; ILHA, M. S. de O. Comparação de desempenho hidrológico de sistemas de infiltração de água de chuva: poço de infiltração e jardim de chuva. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 79-90, abr./jun. 2014. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

SILVA, E.P. Acúmulo e carreamento de metais pesados e sólidos em superfícies asfálticas. Dissertação de mestrado UFG-GO, 2014.

TUCCI, Carlos E. M. Gerenciamento da Drenagem Urbana. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 7, n.1, p. 5-27, jan/mar. 2002.

_____. Drenagem Urbana. *Cienc. Cult.*, São Paulo, v.55, n.4, oct./dec. 2003.

VENDRAME, IF. Considerações sobre o emprego de poços de infiltração. X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 1998.