

VI-035 - USO DOS ADSORVENTES CINZA DE CASCA DE ARROZ E CARVÃO ATIVADO PARA REMOÇÃO DE BTEX E REDUÇÃO DE TOXIDADE DE ÁGUAS CONTAMINADAS

Gabriella Arnold⁽¹⁾

Engenheira Ambiental, graduada pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Amanda Goncalves Kieling⁽¹⁾

Engenheira de Alimentos. Mestrado em Engenharia Civil: Gerenciamento de Resíduos. Doutorado em Engenharia de Minas Metalúrgica e Materiais. Professora e Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Gestão Ambiental da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Marcelo Oliveira Caetano⁽¹⁾

Engenheiro Civil, e de Segurança do Trabalho. Mestrado em Engenharia Civil: Gerenciamento de Resíduos. Doutorado em Engenharia de Minas Metalúrgica e Materiais. Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Alexya Da Silva Lague⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Química na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Bolsista de Iniciação Científica.

Endereço⁽¹⁾: Av. Unisinos, 950 – Bairro Cristo Rei – São Leopoldo – RS – CEP: 93.022-750 – Tel: (51) 35911122 Ramal 1699 – email: gabi.arnold@hotmail.com, amandag@unisinos.br, mocaetano@unisinos.br, alexyalague@hotmail.com.

RESUMO

A contaminação de águas subterrâneas devido aos vazamentos de combustíveis em operações de armazenamento e acidentes durante o transporte de produtos e matérias-primas da indústria petroquímica é cada vez mais comum. Sendo que, os hidrocarbonetos monoaromáticos que constituem a gasolina como o benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX) são substâncias tóxicas que geram impactos negativos ao meio ambiente e a saúde da população. Portanto, destaca-se a importância para a remoção destes contaminantes, devido que os reservatórios de água são cada vez mais utilizados para captação e abastecimento humano. Como uma das principais ferramentas utilizadas para a remediação emprega-se a prática de adsorção, removendo os hidrocarbonetos através da interação física destes com o adsorvente, sendo o carvão ativado o material adsorvente mais utilizado. Contudo, devido ao seu alto custo e ao impacto ambiental gerado em sua fabricação faz com que outros materiais alternativos de baixo custo sejam avaliados, e como material alternativo vê-se interesse na cinza de casca de arroz. A eficiência de remediação de áreas afetadas se limita na remoção de contaminantes, não sendo relevante para considerações o parâmetro de toxicidade. Dessa forma, o presente estudo avaliou a eficiência da cinza de casca de arroz (CCA) como adsorvente alternativo ao carvão ativado (CA), com aplicação individual e em mistura para remoção de BTEX. Por fim, avaliou-se através da metodologia *allium cepa* a toxicidade da solução final, pós-adsorção. Os resultados obtidos, para o tempo de monitoramento de 120 minutos, atingiram-se valores de remoções médias para 100%-CA, 100%-CCA e 50%-CA/CCA de 96%, 90,5% e 95%, respectivamente. Em avaliação aos testes de ecotoxicidade de germinação e inibição do crescimento das raízes, verificou-se que algumas amostras ainda apresentaram toxinas para a *allium cepa* depois do ensaio de adsorção. Portanto, a mistura de adsorventes (CA+CCA) provou-se eficaz quanto à remoção dos hidrocarbonetos do grupo BTEX. Porém, mesmo atendendo aos índices de concentrações finais requisitadas em legislações ambientais, algumas amostras ainda mostraram-se tóxicas e necessitam de maiores ponderações quanto ao lançamento em meio ambiente.

PALAVRA-CHAVE: Adsorção, *allium cepa*, BTEX, carvão ativado, cinza da casca de arroz, hidrocarbonetos, toxicidade.

INTRODUÇÃO

Os hidrocarbonetos monoaromáticos, do conjunto benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX), sendo estes presentes na gasolina, são classificados como substâncias de alta toxicidade, gerando riscos ao meio ambiente e a saúde da população. Devido aos vazamentos de combustíveis, nos transportes em tubovias e nos tanques de armazenamento, ocorre, portanto, a contaminação de águas subterrâneas, em virtude à alta solubilidade dos hidrocarbonetos, sendo este um agravante, uma vez que, os reservatórios de água são cada vez mais utilizados para captação e abastecimento humano. Dessa forma, há necessidade da identificação, gerenciamento e remediação das áreas contaminadas.

Para remoção destes contaminantes, uma das tecnologias de remediação mais utilizadas é a adsorção. O material adsorvente carvão ativado (CA) é o mais comumente utilizado, tendo como princípio a remoção dos hidrocarbonetos com a interação física entre estes elementos e o agente adsorvente, apresentando-se eficiência na remoção de poluentes. Contudo, devido ao seu alto custo e ao impacto ambiental gerado em sua fabricação faz com que outros materiais alternativos de baixo custo sejam avaliados.

Como material alternativo, há o interesse na cinza de casca de arroz (CCA), a qual é originada, em grande maioria, de processos de combustão em caldeira. Este é um material adsorvente de baixo custo de obtenção, que possui como características a insolubilidade em água, estabilidade química, alta resistência e estrutura granular e porosa. As pesquisas de Gomes et al. (2016), Caetano et al (2016) e Caetano et al (2018) mostram eficientes remoções de BTEX utilizando a cinza de casca de arroz como adsorvente.

A eficiência da remediação limita-se, conforme a legislação, na remoção de contaminantes, não levando em consideração o parâmetro de toxicidade. Desta forma, com a aplicação de testes ecotoxicológicos, há a possibilidade de avaliação de riscos relacionados na determinação de efeitos nocivos de agentes físicos, químicos e biológicos a diversos organismos, desenvolvendo um gerenciamento de qualidade dos ecossistemas.

Utilizado testes de ecotoxicidade, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o potencial de aplicação do processo de adsorção para remoção dos hidrocarbonetos benzeno, tolueno, etilbenzeno, xileno (BTEX), utilizando cinza de casca de arroz e carvão ativado como materiais adsorventes.

METODOLOGIA

Com base em resultados obtidos de concentrações de BTEX em um monitoramento de águas subterrâneas subsequente a um acidente ambiental ocasionado pelo vazamento de combustíveis em um tanque de armazenamento de uma indústria petroquímica, simulou-se o tratamento por adsorção destas águas impactadas por BTEX de acordo com resultados obtidos em escala de bancada. Sendo assim, a solução aquosa preparada em laboratório visou chegar a uma concentração similar a encontrada no monitoramento real, resultando em 10mg/L de cada composto BTEX em uma mistura.

A solução padrão utilizada nos ensaios foi preparada com uma concentração inicial de 10.000mg/L, realizando-se diluições dos hidrocarbonetos benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno em metanol, a partir desta, efetuou-se a diluição para ter-se uma solução de 10 mg/L para os ensaios de adsorção e para a curva de calibração.

Para a geração da curva, diluiu-se a solução em água deionizada, para obter-se diferentes concentrações com variações de 0,1mg/L a 10mg/L abrangendo um total de 9 pontos, sendo por fim, analisadas em cromatografia gasosa.

CARACTERIZAÇÃO DOS ADSORVENTES

A caracterização dos adsorventes está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Caracterização da Cinza de Casca de Arroz (CCA) e Carvão Ativado (CA).

Parâmetro	CCA	CA	Caracterização
pH	8,7	9,3	NG Chilton et al. (2002)
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	81,7	227,5	NG Chilton et al. (2002)
Massa específica (g/cm^3)	1,9	1,7	ABNT (1984), ASTM (2002)
Granulometria (mm)	1,7 – 0,053	3,35 – 0,85	ABIFA (2003a)
Percentual de Perda ao fogo (%)	7,2	98,4	ABIFA (2003b)

Fonte: Gomes et al. (2016) e Caetano et al. (2016).

O estudo cinético dos adsorventes indicou um tempo de equilíbrio de 120 minutos. A melhor correlação foi apresentada com o modelo cinético de 2ª ordem (Tabela 2). Os modelos de Langmiur e Freundlich mostraram correlação apropriada para os adsorventes testados.

Tabela 2: Modelo cinético de 2ª ordem.

Parâmetro	CCA				CA			
	q_e (mg/g)	K_2 (g.min/mg)	h_2 (mg/g.min)	R^2	q_e (mg/g)	K_2 (g.min/mg)	h_2 (mg/g.min)	R^2
Benzeno	0,0971	8,5804	0,0809	0,9999	0,0984	2,0758	0,0201	0,9989
Tolueno	0,0997	15,5431	0,1545	0,9999	0,1005	2,8415	0,0287	0,9994
Ethylbenzeno	0,10005	48,8011	0,4885	0,9999	0,1015	0,1941	0,002	0,9987
Xyleno	0,10009	58,1652	0,5827	0,9999	0,1007	1,4989	0,0152	0,9979

k_2 (constante de velocidade de adsorção - g.min/mg); q_e (quantidade adsorvida em equilíbrio - mg/g); h_2 (velocidade de adsorção inicial - mg/g.min); R^2 (coeficiente de correlação)

Fonte: Caetano et al. (2016).

ENSAIOS DE ADSORÇÃO

Para os ensaios de adsorção, simulando uma concentração real de água subterrânea contaminada, utilizou-se uma solução sintética de 10mg/L de BTEX. Para tal, seguiu-se as concentrações relatadas por Gomes et al. (2016), Caetano et al. (2016) e Caetano et al. (2018).

Para a remoção de BTEX, os materiais adsorventes utilizados foram a cinza de casca de arroz (100%-CCA), como adsorvente alternativo, e o carvão ativado (100%-CA). Também avaliou-se um adsorvente misto com 50%-CA e 50%-CCA.

Os ensaios foram realizados em um sistema estático, em erlenmeyer com 200 mL de solução orgânica com uma dosagem de 2g de material adsorvente em velocidade de agitação a 170 rpm, à temperatura ambiente (20 ± 2 °C). Avaliando a influência do tempo de contato, os períodos de ensaio foram divididos em 60 e 120 minutos, pois, segundo Kieling (2016), a partir de 120 minutos, os valores apresentados na remoção são semelhantes, chegando ao ponto de equilíbrio do ensaio.

Após a finalização de cada intervalo, o filtrado das soluções foram recolhidos em alíquotas de 1mL para cada tipo de adsorvente para a quantificação dos compostos BTEX após ensaio de adsorção. Para a verificação das concentrações finais dos compostos, as amostras foram submetidas à análise em cromatografia gasosa.

ENSAIOS DE TOXICIDADE

Posteriormente aos ensaios de adsorção, da mesma forma que executado na pesquisa de Caetano *et al.* (2018), realizou-se os ensaios de ecotoxicidade baseados no método utilizado por Fiskesjö (1985), o qual indica a toxicidade da amostra pelo índice de germinação das raízes de cebolas orgânicas (*Allium Cepa*).

Para ter-se confiabilidade nos resultados e não apresentar interferências ao longo das análises, foram utilizadas cebolas provenientes de um mesmo fornecedor e que apresentassem tamanho de bulbo regular de 20 a 30 mm de diâmetro. Sendo previamente secas e a remoção de cascas e raízes, mantendo o seu anel central intacto, no qual se espera que se desenvolvam novas raízes ao longo do estudo.

Dessa forma, preencheram-se tubos de ensaio com as soluções recolhidas e diluídas em água potável apresentando concentrações de 25%, 50% e 100% (solução não diluída), e os bulbos das cebolas foram dispostos em contato direto com as soluções, conforme Fiskesjö (1985).

Os conjuntos formados, totalizando 88 amostras, foram dispostos em uma câmara de germinação. O tempo total de incubação foi de 96 horas á 22°C, com reposição de volume das amostras uma vez ao dia durante todo período de incubação.

Por fim, calculou-se o índice de germinação para avaliação da eficiência do tratamento por adsorção, realizando medições do crescimento das raízes e comparado com a amostra de controle negativo (água potável).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ENSAIOS DE ADSORÇÃO

A Tabela 3 apresenta os resultados médios de remoção do grupo BTEX para os tempos de monitoramento testados e diferentes tipos de adsorventes.

Tabela 3: Média de remoção do grupo BTEX por tempo de ensaio.

Adsorvente	Remoção média de BTEX (%)	
	60 minutos	120 minutos
100%CA	66,97	95,91
100%-CCA	83,07	90,54
50%CA-50%CCA	75,36	95,04

Em relação ao período de exposição, obteve-se maior remoção dos contaminantes no período de 60 minutos. As remoções médias foram de 83,07% para 100%-CCA e 66,97% para 100%-CA. A mistura (50%-CA/CCA) resultou em um valor intermediário aos dois adsorventes, com 75,36% de remoção. Esses resultados podem estar relacionados com as altas concentrações dos compostos no início do ensaio e com a área superficial do adsorvente ainda livre de substâncias.

Já para o tempo de monitoramento de 120 minutos, os resultados de adsorção do BTEX foram bastante similares para os diferentes adsorventes testados. As remoções médias obtidas para 100%-CA, 100%-CCA e 50%-CA/CCA foram 95,91%, 90,54% e 95,04%, respectivamente.

Assim, em relação aos testes de adsorção, percebe-se que para a concentração de BTEX de 10mg/L os resultados de remoção da concentração no tempo de monitoramento de 120 minutos foram melhores em comparação ao tempo 60 minutos (Figura 1). Caetano et al (2018) verificou que para 5mg/L de BTEX, 60 minutos já era suficiente para redução das concentrações do composto.

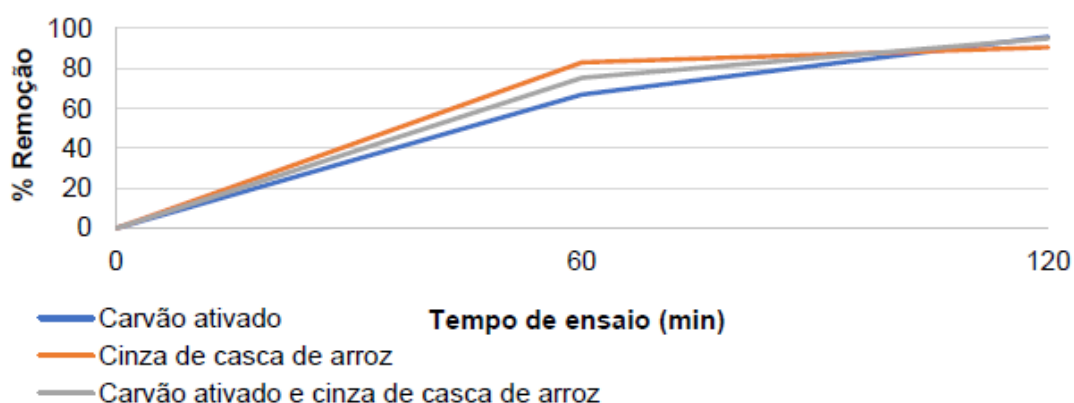


Figura 1: Resultados do ensaio de adsorção.

A avaliação das remoções considerando os parâmetros de forma isolada, está demonstrada nas nas Figuras 2, 3 e 4, com as curvas de remoção para cada composto por material adsorvente utilizado.

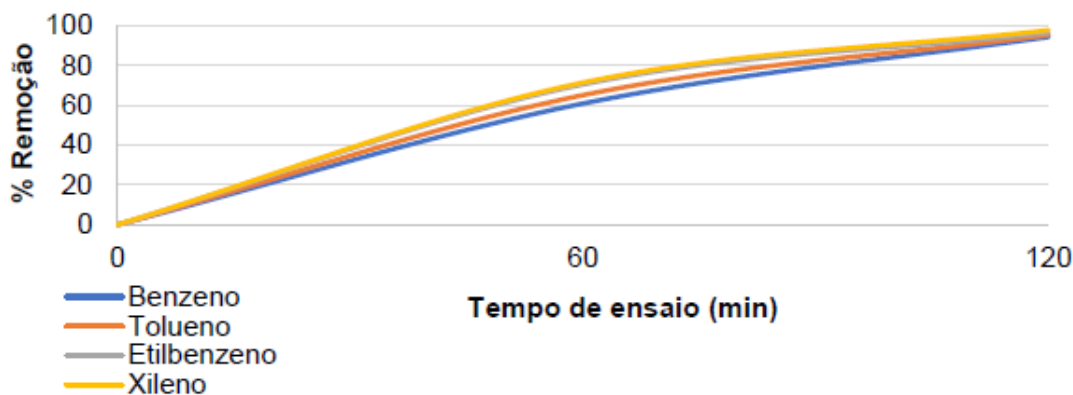


Figura 2: Adsorção do grupo BTEX em carvão ativado.

Para o adsorvente carvão ativado, conforme Figura 2, a remoção é contínua com o aumento do tempo de ensaio. Os resultados são superiores a remoção de 94% para todos os compostos no período de 120 minutos.

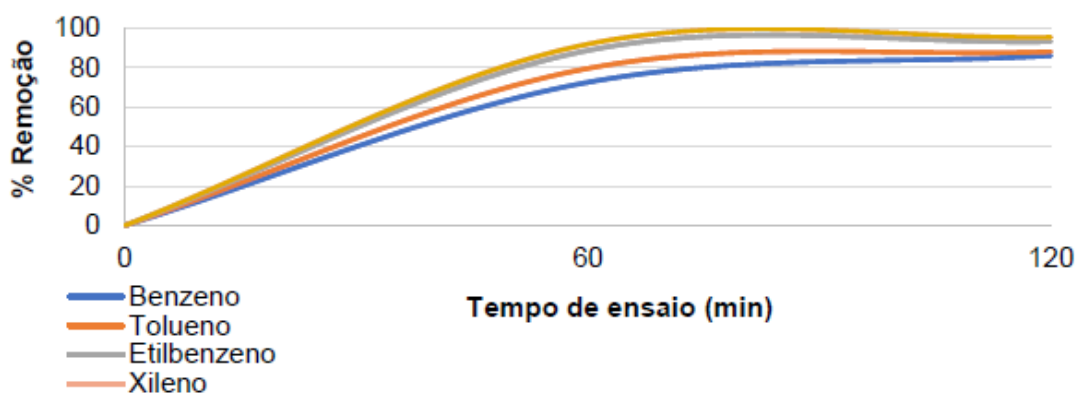


Figura 3: Adsorção do grupo BTEX em cinza de casca de arroz.

Na Figura 3, observa-se que após o final do primeiro ensaio, período de 60 minutos, os valores de remoção dos compostos vão se estabilizando, não apresentando grandes variações para o segundo ensaio, período de 120 minutos. Constata-se também, a menor remoção dos compostos benzeno e tolueno com índices de remoção de 85,9% e 87,9% respectivamente.

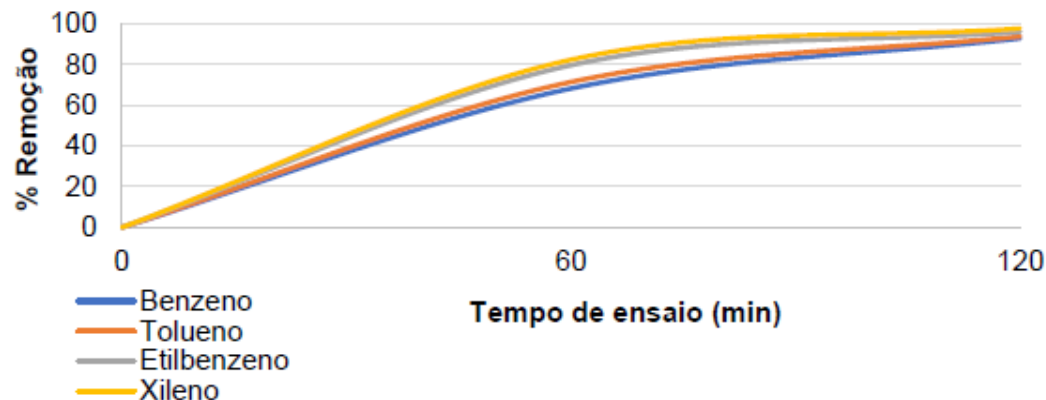


Figura 4: Adsorção do grupo BTEX em mistura de CA+CCA.

Considerando os resultados por meio da mistura dos adsorventes, conforme Figura 4, a remoção de BTEX, como no ensaio utilizando apenas CA, foi contínua, conforme o tempo de exposição aumenta. Para os compostos benzeno e tolueno, os resultados de remoção mantiveram-se intermediários entre os resultados de CA e CCA analisados separadamente. Já em avaliação aos compostos etilbenzeno e xileno, a remoção da mistura equiparou-se a remoção do ensaio de CA.

ENSAIOS DE TOXICIDADE

Em avaliação aos testes de ecotoxicidade na germinação e inibição do crescimento das raízes, avalia-se nas amostras contendo concentrações de BTEX, que conforme a concentração diminui, os valores de germinação e comprimentos de raiz aumentam (Figura 5), comprovando a eficiência de remoção dos compostos no processo de adsorção.

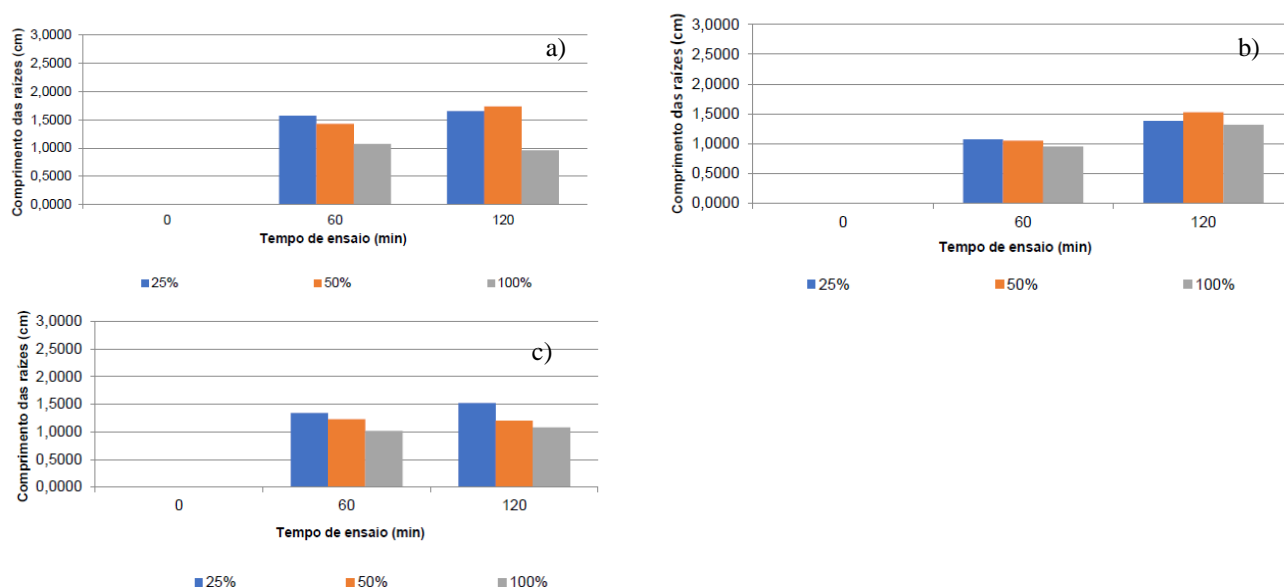


Figura 5: Crescimento das raízes da *Allium Cepa*. a) 100%-CA; b) 100%-CCA; c) 50%-CA/CCA

E, ainda referente ao tempo de exposição ao material adsorvente, no período de 120 minutos, o desenvolvimento das raízes é superior ao período de 60 minutos. Contudo, verificou-se que algumas amostras apresentaram toxicidade para a *allium cepa* após o ensaio de adsorção, mesmo estando com as concentrações dos poluentes de acordo com os valores de referência dispostos pela legislação ambiental.

Na Tabela 4 apresenta-se o número de raízes germinadas por amostra e a média dos comprimentos desenvolvidos no final do ensaio utilizando metodologia com bulbos de *allium cepa*. Ao todo foram avaliados 88 bulbos, totalizando 1869 medições de raízes. Entende-se AP por água potável, BRANCO a solução que não recebeu tratamento por adsorção, 100% solução sem diluição, 50% por composição de 50% solução pós-adsorção e 50% água potável e 25% por composição com 25% de solução pós-adsorção e 75% água potável.

Tabela 4: Médias de desenvolvimento das raízes.

Adsorvente	Concentração	Tempo (min)	nº de raízes germinadas	Crescimento Médio (cm)
AP	-	0	111	1,8
BRANCO	100%	0	52	0,7
BRANCO	50%	0	73	1,2
BRANCO	25%	0	103	1,6
CA	100%	60	74	1,1
CCA	100%	60	58	0,9
CA+CCA	100%	60	85	1,0
CA	50%	60	82	1,4
CCA	50%	60	85	1,0
CA+CCA	50%	60	105	1,2
CA	25%	60	89	1,6
CCA	25%	60	84	1,1
CA+CCA	25%	60	103	1,3
CA	100%	120	87	1,0
CCA	100%	120	86	1,3
CA+CCA	100%	120	74	1,1
CA	50%	120	106	1,7
CCA	50%	120	106	1,5
CA+CCA	50%	120	28	1,1
CA	25%	120	102	1,6
CCA	25%	120	87	1,4
CA+CCA	25%	120	89	1,5

Na Tabela 5 tem-se os resultados dos índices de germinação para os ensaios realizados, sendo a análise verificada em função das diluições de BTEX, expressas pela concentração do contaminante em cada uma delas.

Tabela 5: Índice de germinação dos ensaios.

Adsorvente	Diluição (%)	Concentração (mg/L)	Tempo (min)	Média crescimento (cm)	% de controle	Índice de Germinação
	-		-	1,80	100,00%	100,00%
Água potável		0,00	0	0,69	46,85%	17,89%
BRANCO	100%	10,00	0	1,18	65,77%	43,03%
BRANCO	50%	5,00	0	1,60	92,79%	82,52%
BRANCO	25%	2,50	60	1,10	66,67%	40,74%
CA	100%	3,30	120	1,00	78,38%	43,54%
CA	100%	0,41	60	1,40	73,87%	57,46%
CA	50%	1,65	120	1,70	95,50%	90,19%
CA	50%	0,21	60	1,60	80,18%	71,27%
CA	25%	0,83	120	1,40	91,89%	71,47%
CA	25%	0,10	60	0,95	52,25%	27,52%
CCA	100%	1,69	120	1,32	77,48%	56,71%
CCA	100%	0,95	60	1,05	76,58%	44,66%
CCA	50%	0,85	120	1,52	95,50%	80,87%
CCA	50%	0,47	60	1,06	75,68%	44,66%
CCA	25%	0,42	120	1,38	78,38%	60,12%
CCA	25%	0,24	60	1,02	76,58%	43,36%
CA+CCA	100%	2,46	120	1,08	66,67%	39,96%
CA+CCA	50%	1,23	60	1,23	94,59%	64,42%
CA+CCA	50%	0,25	120	1,10	25,23%	15,37%
CA+CCA	25%	0,62	60	1,34	92,79%	69,21%
CA+CCA	25%	0,12	120	1,52	80,18%	67,77%

Nos resultados dos índices de germinação quando apresentam-se iguais ou menores do que 50%, avaliados como concentrações críticas, admite-se que o efluente tenha efeitos fitotóxicos sobre a planta utilizada para germinação (ZUCCONI et al., 1981 apud SILVA; VILLAS BÔAS, 2007, p. 65).

Nos ensaios com CA, os índices de germinação ficaram inferiores para as amostras sem diluição, nos dois períodos de análise. Para todas as diluições, as amostras do período de 120 minutos apresentaram germinação superior ao ensaio de 60 minutos. Na avaliação com CCA, todas as amostras do período de 60 minutos ficaram abaixo do esperado, indicando que para o alcance de resultados positivos com este adsorvente é necessário um período maior de exposição. E no ensaio com a mistura dos adsorventes, nas amostras sem diluições, os índices ficaram abaixo da meta proposta.

CONCLUSÕES

Pode-se concluir que os materiais adsorventes utilizados no estudo apresentam desempenho satisfatório para a adsorção dos hidrocarbonetos do grupo BTEX, com percentuais que variam na ordem de 88% a 98% de remoção, variando de acordo com as propriedades de cada hidrocarboneto e material adsorvente.

Verificou-se que a maior remoção dos compostos se dá no primeiro ensaio de 60 minutos, porém, conforme o ensaio de adsorção é prolongado até o fim dos 120 minutos, obtêm índices superiores de 30% de acréscimo na remoção dos compostos.

Quanto à comparação entre os adsorventes, 100%-CCA foi o material que resultou em menores índices de remoção. Já a mistura (50%-CCA/CA), provou-se eficaz quanto à remoção dos hidrocarbonetos do grupo BTEX, apresentando resultados satisfatórios em comparação ao 100%-CA, portanto, é possível afirmar que a proposta da utilização da cinza de casca de arroz em conjunto ao carvão ativado em aplicação prática de adsorção de BTEX é viável.

Para avaliação da eficiência da remoção de contaminantes, os resultados do estudo foram avaliados em comparação a duas legislações do CONAMA. Verificou-se que o benzeno apresentou maior dificuldade no atendimento das legislações. Para os limites fixados na Resolução CONAMA nº420/2009, apenas o xileno se enquadra. Já em avaliação aos limites pela Resolução CONAMA nº430/2011, a concentração final de todos os componentes do grupo BTEX, atendem à legislação. Portanto, as remoções dos compostos apresentam-se satisfatórias com concentrações finais adequando-se às legislações, na utilização da mistura como adsorvente.

Por fim, na avaliação dos dados resultantes dos ensaios de ecotoxicidade, as amostras com período de adsorção de 120 minutos tiveram-se melhores resultados quanto ao desenvolvimento de raízes. E quanto à diluição das amostras, obteve-se proporcionalidade ao desenvolvimento destas raízes, ou seja, quanto maior a diluição da solução, maior o número de raízes germinadas e o seu comprimento.

Mesmo atendendo aos índices de concentrações finais requisitadas em legislações ambientais, algumas amostras ainda se mostraram tóxicas para a *allium cepa*, necessitando-se de maior avaliação quanto ao lançamento em meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma NBR 6508 – Grãos de Solos que passam na peneira de 4,8mm – Determinação da massa específica. 1984.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. CEMP (Comissão de Estudos de Matérias Primas) nº 120: Materiais para Fundição – Determinação da Perda ao Fogo. ABIFA, 2003a. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. CEMP (Comissão de Estudos de Matérias Primas) nº 081 Materiais para Fundição: Determinação da Distribuição Granulométrica. ABIFA, 2003b.
3. ASTM. D850. Test Method for specific gravity of solids by water pycnometer. 2002.
4. CAETANO MO, SCHNEIDER IAH, GOMES LP, KIELING AG, MIRANDA LAS. A compact remediation system for the treatment of groundwater contaminated with BTEX and TPH. Environ Technol. 2016, doi: <http://dx.doi.org/10.1080/09593330.2016.1231222>

5. CAETANO MO; KIELING AG, RAIMONDI RL, GOMES LP, SCHNEIDER IAH. Ecotoxicity tests with *Allium cepa* to determine the efficiency of rice husk ash in the treatment of groundwater contaminated with benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 12849–12858, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1512-6>.
6. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 21 jun. 2017.
7. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 21 jun. 2017.
8. FISKESJÖ G (1981) The *Allium* test as a standard in environmental monitoring. *Hered* 102: 155-162.
9. GOMES LP, KIELING AG, CAETANO MO, SCHNEIDER IAH, MORAES CAM. Rice Husk Ash waste in remediation areas contaminated by hydrocarbons. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica* 9(1):139-156, 2016.
10. NG CHILTON et. al. Physical and chemical properties of selected agricultural byproduct-based activated carbons and their ability to adsorb geosmin. *Bioresource Technology*. 84, p 177-185, 2002.
11. SILVA, F. A. M.; VILLAS BÔAS, R. L. Teste de germinação como indicador de maturação em composto orgânico. *Revista Energia na Agricultura, Botucatu*, v. 22, n. 3, p. 63-73, 2007.