

IV- 421 – CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC) PARA A ADSORÇÃO DE ZINCO EM EFLUENTES

André Afonso Borges de Souza⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Mestrando no programa de pós-graduação em Qualidade Ambiental na Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

Sueli Moura Bertolino⁽²⁾

Bacharel e licenciada em Química pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Doutora em Engenharia de Materiais na Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Professora na Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

Endereço⁽¹⁾: Rua Maria das Dores Dias, 850, apartamento 302 bloco 17 – Santa Mônica - Uberlândia - MG - CEP: 38408206 - Brasil - Tel: (34)996890909 - e-mail: andre.dede@ufu.br

RESUMO

Metais pesados, como o zinco (Zn), são compostos inorgânicos poluentes de corpos hídricos presentes em efluentes de origem industrial como a mineração e, em altas concentrações, podem causar diversos impactos ao meio ambiente. Além disso, os metais são poluentes acumulativos, isto é, uma vez expostos ao ambiente, eles serão acumulados na cadeia trófica prejudicando a qualidade ambiental e afetando toda a cadeia alimentar do bioma. A técnica da adsorção está sendo estudada e empregada com maior frequência para a remoção destes metais presentes nos efluentes.

Desse modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar resíduos da construção civil (RCC), um material alternativo, na adsorção do metal Zn. O estudo foi dividido na etapa de caracterização e análise do material; ensaios em batelada para analisar os parâmetros tempo de equilíbrio, pH e granulometria do material para otimização dos parâmetros cinéticos. Os parâmetros de otimização obtidos nos ensaios de adsorção em batelada foram: pH 7,15, tempo de 8 horas na granulometria de 2,0 a 4,0 mm que irão contribuir para a maior capacidade de adsorção para ensaios em escala.

PALAVRAS-CHAVE: Adsorção de zinco, Resíduo da Construção Civil, Tratamento Alternativo de Efluente, Tempo de Equilíbrio, pH de Otimização.

INTRODUÇÃO

Com o crescimento da industrialização e da mineração, a contaminação do meio ambiente por metais pesados tornou-se um problema ambiental em muitos países. Esses resíduos são poluentes bioacumulativos e a exposição pode causar diversos problemas de saúde nos humanos. Esses metais são amplamente utilizados no setor industrial, visto que são matérias-primas para ligas metálicas, eletrônicos, bateria, pesticidas, fertilizantes, tintas, pigmentos, entre outros (OLIVEIRA, 2017).

Alguns metais são essenciais para os organismos, sendo micronutrientes fundamentais para o funcionamento do corpo humano, como o zinco. Porém, quando são ingeridos em altas concentrações, os metais irão se acumular nos órgãos, podendo causar graves complicações e problemas de saúde (OLIVEIRA, 2017).

A ingestão de altas concentrações de zinco está associada com eventos de intoxicação, causando ressecamento de músculos e vertigens (CALISKAN et al., 2011). Dessa forma, a Portaria do Ministério da Saúde n.º 888, de 2021, estabelece a concentração máxima de zinco em águas potáveis de 5,0 mg.L⁻¹, mesmo valor estabelecido pela Resolução CONAMA n.º 430, de 2011, para o lançamento de efluentes em corpos receptores. Enquanto nos corpos de água doce superficiais, classe 1 e 2, o valor máximo estabelecido é de 0,18 mg.L⁻¹, segundo a Resolução do CONAMA n.º 357, de 2005.

A preocupação em relação à toxicidade e capacidade de bioacumulação de metais nos ecossistemas leva à busca por novos métodos e tecnologias adequados e economicamente viáveis para o tratamento desses poluentes. Segundo Borba (2006), os principais métodos de tratamento de efluentes de metais pesados são a precipitação, oxidação, redução, filtração por membranas, troca iônica e a adsorção. Desses processos, a adsorção é um dos mais eficientes no tratamento de remoção de metais pesados, além da possibilidade de introduzir, nesse mercado, novos adsorventes provenientes de resíduos industriais.

De acordo com a Resolução CONAMA n.º 307, de 2002, os resíduos de construção civil reciclados (RCCR) são enquadrados na Classe A e são definidos como os restos cimentícios, argamassas, concretos, cal, cerâmica, azulejo, entre outros. Esses resíduos gerados em obras são destinados para unidades de britagem, onde são divididos os plásticos, papéis, metais e matéria orgânica dos demais resíduos e o material restante é triturado por britadeiras, gerando um material triturado em diferentes granulometrias (CONAMA, 2002).

Os RCCRs apresentam uma parcela expressiva de material cimentício de elevada porosidade e grandes quantidades de aglomerantes, contribuindo para uma maior adsorção. O resíduo é constituído principalmente por óxidos de sílica, alumina e óxido de cálcio. Materiais mais porosos e de menor resistência mecânica podem causar uma redução da resistência dos agregados (ULSEN, 2006; LEITE, 2001).

OBJETIVOS

Caracterizar e avaliar resíduos da construção civil em ensaios de adsorção para a remoção do metal zinco em efluente.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia foi dividida em duas etapas. A primeira etapa foi a caracterização do material adsorvente. O material adsorvente utilizado foi um resíduo de construção civil reciclado sem tratamento. O material inicialmente foi triturado e fraturado por marteladas e peneirado em três faixas de granulometria: 0,5 a 1 mm, 2 a 4 mm e 4 a 7,5 mm.

A estrutura superficial e a composição química do material RCC foram avaliadas pela técnica de microscopia por meio de um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) e de espectroscopia de energia dispersiva (EDS), marca Tescan e modelo VEGA 3 LMU. Enquanto a cristalinidade do material adsorvente foi avaliada pela caracterização estrutural por difração de raio-X. Para isso, foi utilizado um equipamento DRX, Shimadzu XRD-6000.

O comportamento do material em absorver cátions ou ânions em função do pH foi avaliado pelo Ponto de Carga Zero (PCZ), para isso foi realizado o “experimento dos 12 pontos”, metodologia modificada de Regalbuto et al. (2004).

A segunda etapa foi o ensaio de adsorção de zinco utilizando o RCC. Para avaliar a remoção do zinco em função do pH foi realizado ensaios em batelada variando o pH entre 6,0 a 9,0, nas três granulometrias (0,5 a 1 mm, 2 a 4 mm e 4 a 7,5 mm). Em erlenmeyers de 50 mL foi adicionando 1 g do RCC e 50 mL da solução sintética contendo o metal. Em seguida, o pH das amostras foi ajustado com a solução hidróxido de sódio ou ácido clorídrico, a fim de atingir os valores de pH 6,0; 6,5; 7,0; 7,5; 8,0; 8,5 e 9,0, medido em pHmetro, marca Hanna. Os erlenmeyers contendo o RCCR e a solução de metal foram agitados a 100 rpm e após 24 horas, o pH final das amostras foram medidos pelo multiparâmetro e, posteriormente, uma alíquota do sobrenadante foi coletada e filtrada com membrana 0,45 µm e armazenadas em tubos Falcon. Os valores das concentrações finais e da concentração inicial dos metais foram quantificados em um espectrofotômetro de emissão atômica com fonte de plasma (ICP/OES), marca Agilente, modelo 5100.

Após definição do melhor pH de remoção do metal, foram realizados ensaios com o objetivo de determinar o tempo de equilíbrio da adsorção do metal no RCC. Para isso, utilizou-se 1g de RCC, 50 mL de solução sintética na concentração de 25 mg.L⁻¹ Zn. Os erlenmeyers, contendo o RCCR e a solução de metal, foram

dispostos em mesa agitadora a 100 rpm, na temperatura ambiente. Nos intervalos de 30 min, 1h, 2h, 4h, 6h e 24h, uma alíquota de 10 mL foi retirada para a determinação da concentração final do zinco.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A morfologia e identificação de elementos químicos do material RCC puderam ser avaliadas pela micrografia obtida pelo MEV (Figura 1) e pelo espectro EDS (Figura 2).

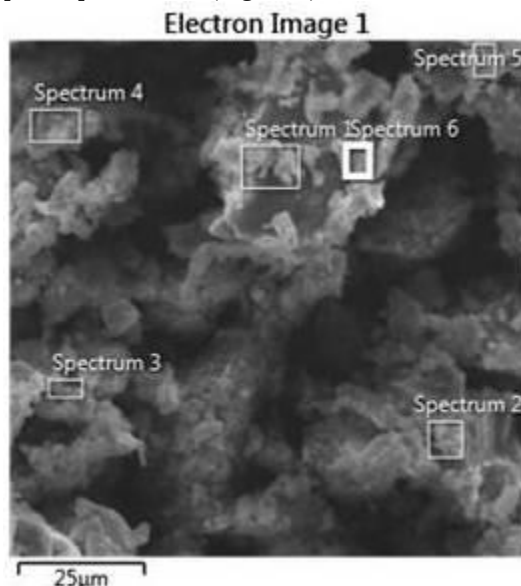


Figura 1: Micrografia da superfície do Resíduo da Construção Civil Cerâmico bruto na escala de 25 µm, com seis espectros selecionados pelo equipamento MEV.

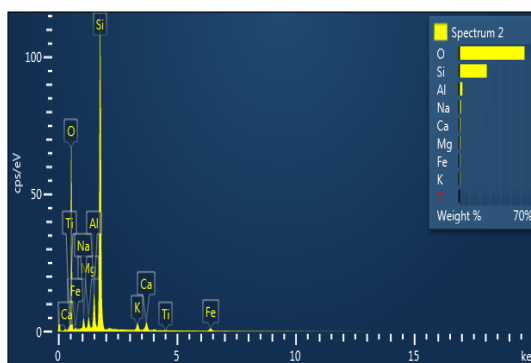


Figura 2: Espectro EDS e composição do RCC no espectro 1 em porcentagem.

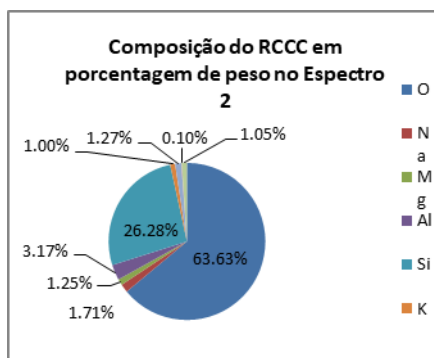


Figura 3: Espectro EDS e composição do RCC no espectro 1 em gráfico de setores.

A micrografia obtida pelo MEV (Figura 1) mostrou uma morfologia heterogênea da superfície do RCCR com espaços vazios na estrutura da amostra, identificando uma superfície irregular do material. Nota-se uma maior porcentagem de oxigênio, silício e alumínio (Figura 2), indicando a presença de radicais como os silicatos, aluminicatos, aluminossilicatos, entre outros, na superfície do resíduo da construção civil. E pelo resultado do EDS (Figura 3) conclui-se que há a presença de quartzo (SiO_2) em maior escala, havendo ainda caulinita na composição, com picos de difração bem definidos e estreitos, com exceção de um pico maior que os demais, justificando a alta cristalinidade dos silicatos e aluminossilicatos.

As características cristalinas do RCCR foram verificadas através da difração de raios-X (DRX), apresentado na Figura 4, em que Q representa o quartzo (SiOH_2), o C representa a caulinita e o F representa o feldspato.

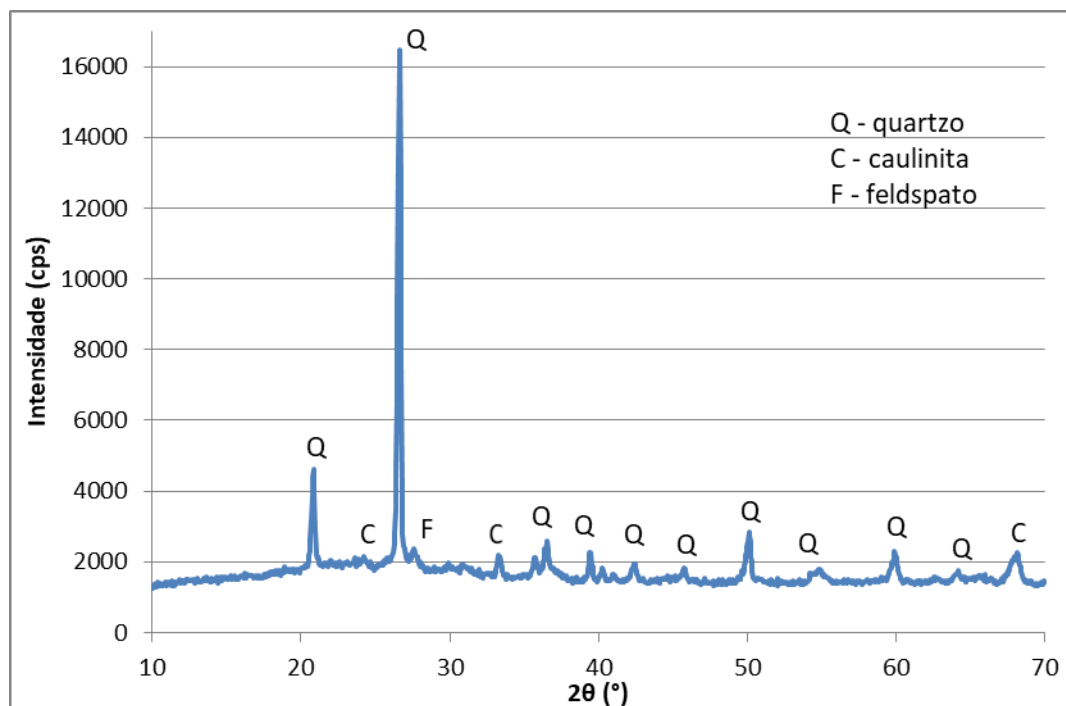


Figura4: Gráfico 2θ (°) x Intensidade (cps) do resíduo da construção civil por DRX.

Conclui-se que há a presença de quartzo (SiO_2) em maior escala, havendo também presença de caulinita e feldspato na composição e os picos de difração são bem definidos e estreitos, com exceção de um pico que é maior que os demais, justificando a alta cristalinidade dos silicatos e aluminossilicatos (Sales et al., 2014).

Os valores de pH inicial e pH final dos 12 pontos para cálculo do PCZ do material RCCC após o período de 24 horas de agitação são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Valores de pH inicial e final dos 12 pontos de ensaio de determinação do PCZ do material RCC.

Pontos	pH inicial	pH final 1	pH final 2	pH final médio	ΔpH
1	0,66	0,53	0,52	0,53	0,14
2	1,56	1,72	1,71	1,72	-0,16
3	2,75	4,53	4,53	4,43	-1,68
4	4,27	5,26	5,29	5,28	-1,01
5	4,90	5,53	5,43	5,48	-0,58
6	5,31	5,69	5,70	5,70	-0,39
7	6,40	5,66	5,55	5,61	0,80
8	7,20	5,61	5,55	5,58	1,62
9	8,76	5,87	5,89	5,88	2,88
10	10,03	6,74	7,00	6,87	3,16
11	11,04	9,31	9,28	9,30	1,75
12	11,66	11,1	11,14	11,12	0,54

Para determinar o PCZ do material RCC foi construído curva pH inicial versus pH final (Figura 5), valores obtidos pelo “experimento dos 12 pontos”.

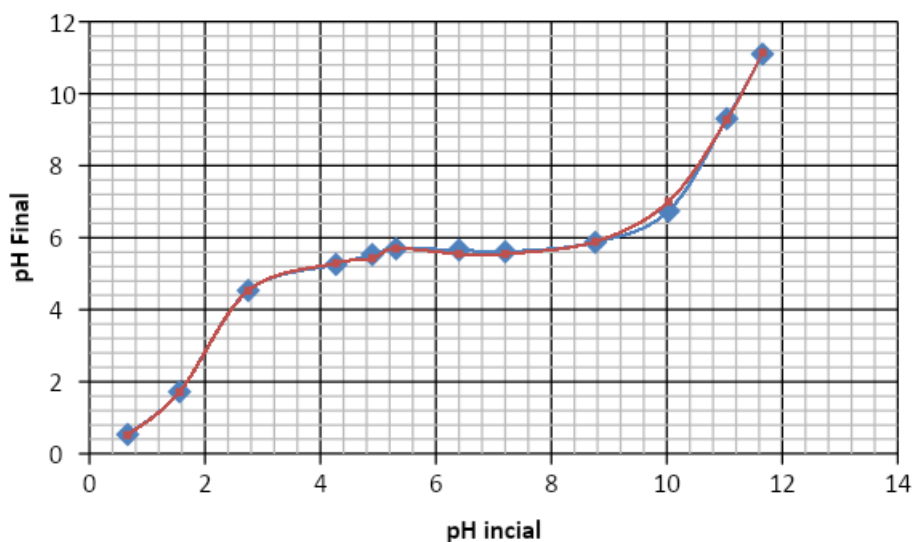


Figura 5: Gráfico do pH inicial x pH inicial dos 12 pontos para determinação do PCZ do material adsorvente RCC.

O PCZ corresponde ao ponto que o pH se mantém constante depois do sistema ter atingido o equilíbrio. Assim, a partir do gráfico da Figura 4, foi possível calcular o ponto de carga zero tirando a média aritmética dos pontos em que o pH final se manteve constante, sendo o PCZ do material RCCR, 5,7. Neste valor de pH, o material possui carga líquida zero, enquanto que, abaixo de 5,7, o material estará carregado positivamente

e acima do PCZ com cargas negativas. Agora, se uma solução líquida com pH acima do PCZ entrar em contato com o RCCR, a superfície é carregada negativamente e, adsorve, preferencialmente, cátions, portanto, eficiente para a remoção de metais pesados presentes em efluentes.

A concentração final de zinco para cada valor de pH estudado após o período de 24 horas de agitação, nas três faixas de granulometria, é apresentada na Tabela 1. A partir destes valores, foi possível calcular a capacidade máxima de adsorção do metal utilizando a equação 1.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde: q_e : capacidade máxima no equilíbrio (mg.g^{-1}); C_0 é a concentração inicial do metal; C_e é a concentração do metal no equilíbrio; V é o volume da solução e m é massa do adsorvente. Os valores de pH, concentração de equilíbrio e capacidade máxima de adsorção dos ensaios para avaliação do melhor pH de remoção após o período de 24 horas de agitação, nas três faixas de granulometria estudadas estão apresentados nas Tabelas 2.

Tabela 2. Valores de pH inicial, concentração final (mg.L^{-1}) de zinco e capacidade máxima adsorção (mg.g^{-1}), nas granulometrias de RCCR 05-1,0 mm, 2,0-4,0 mm e 4,0-7,5 mm.

0,5-1,0 mm			2,0-4,0 mm			4,0-7,5 mm		
pH _{inicial}	C _{final}	q _e	pH _{inicial}	C _{final}	q _e	pH _{inicial}	C _{final}	q _e
5,5	13,47	0,58	5,43	17,62	0,37	5,48	20,56	0,22
6,0	14,28	0,54	6,03	18,45	0,33	6,05	21,08	0,20
6,5	13,38	0,58	6,51	18,20	0,34	6,58	21,08	0,20
7,0	11,98	0,65	6,90	16,93	0,40	6,98	20,75	0,21
7,5	8,16	0,84	7,46	7,42	0,88	7,55	19,78	0,26
8,5	13,96	1,18	8,44	2,89	1,11	8,72	2,79	1,11
9,0	0,61	1,22	9,07	2,43	1,13	9,48	2,90	1,10

Para estudar o comportamento do pH inicial na capacidade máxima de adsorção do metal (q_e), foi construído o gráfico “ $q_e \times \text{pH}$ ” para cada granulometria do material estudada, apresentado na Figura 6.

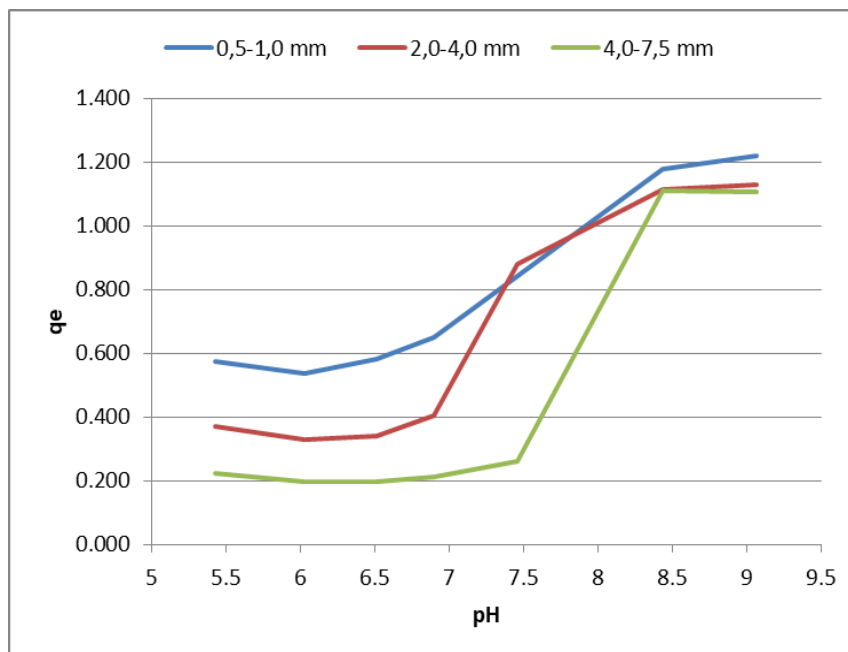


Figura 6: Gráfico q_e x pH das granulometrias 0,5-1,0 mm, 2,0-4,0 mm e 4,0 – 7,5 mm.

Nota-se que as granulometrias apresentaram comportamentos semelhantes, em que se mantiveram constantes, depois houve um crescimento e, por fim, voltaram a se estabilizar. A granulometria de 0,5 a 1,0 mm começou a aumentar o q_e a partir do pH 6 e por volta do pH 8,5 começou a se estabilizar. Já na granulometria de 2,0 a 4,0 mm houve um salto do q_e na faixa de pH 7,0 até 7,5 e próximo ao pH 8 a curva se estabilizou. A granulometria de 4,0 a 7,5 mm teve um crescimento da capacidade de adsorção do pH 7,5 até o 8,4.

Dessa maneira, para a próxima etapa, foi adotado o valor de pH 7,15 para a solução de metal e a granulometria de 2,0 a 4,0 mm, visto que foi um dos maiores desempenhos de adsorção no ensaio de otimização de pH, além de ser um valor mais fácil de ser ajustado, visto que pH elevado pode precipitar o íon metálico na solução.

O tempo de equilíbrio da adsorção do metal zinco no material RCC foi obtido construindo a curva da “capacidade máxima de adsorção x tempo”, nos ensaios realizados com uma solução de concentração inicial de zinco de 25 mg.L^{-1} , utilizando RCC na granulometria de 2 a 4 mm e pH 7,15. A tabela 3 representa os dados obtidos e na Figura 7 pode ser observado o gráfico “ q_e x t”.

Tabela 3: Valores de concentração de Zn e da capacidade máxima adsortiva q_e dos ensaios em pH 7,15 em diferentes intervalos de tempo.

pH 7,15		
Tempo (h)	Cfinal (mg/L)	q_e (mg/g)
0 min	26.696	-
30 min	24.948	0.087
1	24.855	0.104
2	23.95	0.137
4	23.833	0.143
6	23.126	0.179
24	22.751	0.197

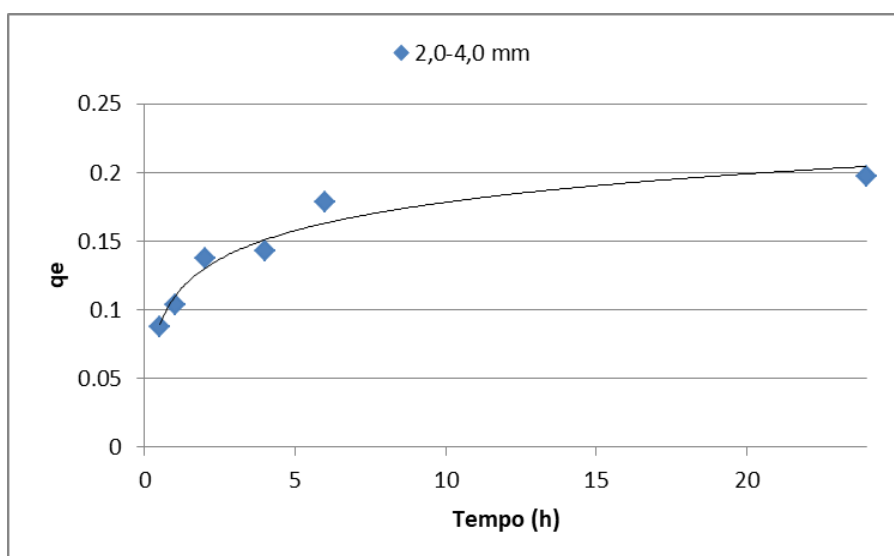


Figura 23: Gráfico do q_e versus tempo (h) para RCC de granulometria 2,0-4,0 mm em solução de zinco para pH de 7,15; 100 rpm e $[Zn] = 25 \text{ mg.L}^{-1}$.

A partir do intervalo de 6 horas a curva do coeficiente q_e começa a se estabilizar. Como nas faixas de tempo acima de 6 horas o q_e não varia tanto, adotou-se o intervalo de 8 horas para o ensaio de concentração.

CONCLUSÕES

A caracterização morfológica e química mostrou que o material apresenta alta cristalinidade, quimicamente constituído pelos elementos químicos em maior porcentagem em oxigênio, silício e alumínio, sendo característicos de minerais óxidos de sílica e alumina. O Ponto de Carga Zero do RCC encontrado foi de 5,7, sendo que acima deste valor se torna um material ideal para a adsorção de cátions, como metais pesados. Os maiores valores obtidos de capacidade de adsorção do zinco com resíduos da construção civil de granulometria na faixa de 2,0 a 4,0 mm foram os valores de $1,13 \text{ mg.g}^{-1}$ no ensaio de otimização de pH e $0,197 \text{ mg.g}^{-1}$ no ensaio de tempo de equilíbrio, obtendo os parâmetros otimizados de tempo de otimização de 8 horas e pH 7,15.

Os ensaios de caracterização, otimização dos parâmetros de pH e tempo de equilíbrio já indicam o potencial uso do material RCC na remoção de metais pesados presentes em efluentes industriais. Para os próximos trabalhos, os valores obtidos neste estudo serão utilizados para obtenção dos parâmetros cinéticos e termodinâmicos do processo de adsorção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BORBA, C, E. Modelagem da Remoção de Metais Pesados em Coluna de Adsorção de Leito Fixo. Tese de Mestrado. FEQ, UNICAMP, PPGQ, USP, 2006.
2. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 307, de 07 de julho de 2002. Ministério do Meio Ambiente. [S. l.], 07 jul. 2002.
3. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, de 25 de novembro de 2005. Ministério do Meio Ambiente. [S. l.], 15 mar. 2005.
4. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Ministério do Meio Ambiente. [S. l.], 13 mai. 2011.
5. LEITE, M, B. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2001.

6. OLIVEIRA, V, L, F. Análise e influência da presença de metais pesados no desenvolvimento do esmalte dentário em crianças na região do Estuário de Santos e São Vicente. Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Paulo. 2017.
7. REGALBUTO, J.R., ROBLES, J. The engineering of Pt/Carbon Catalyst Preparation, University of Illinois, Chicago, 2004.
8. SALES, A ,T, C; FILHO, R, S, A. Efeito do pó de resíduo cerâmico como adição ativa para o concreto. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 113-125, jan./mar. 2014.
9. SILVA, R, P. Remoção de metais pesados em efluentes sintéticos utilizando vermiculita como adsorvente. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2010.
10. ULSEN, C. Caracterização Tecnológica de Resíduos da Construção e Demolição. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2006.