

III - 347 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS LIXIVIADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL COLETADOS PELO SERVIÇO DE REMOÇÃO GRATUITA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO (RJ)

Andressa da Silva Antunes

Graduada em Química Industrial pela Universidade Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Mestranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Rio de Janeiro (UFRJ). Química da Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro (COMLURB).

Erick Neves Jordan

Graduando em Engenharia Química pela Universidade Rio de Janeiro (UFRJ).

Fabiana Araujo Soares

Química Industrial pela Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Mestre em Química pelo Instituto de Química da Universidade Federal Fluminense (UFF). Doutora em Química pelo Instituto de Química da Universidade Federal Fluminense (UFF) e Química da Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro (COMLURB).

Bianca Ramalho Quintaes

Biomédica pela Universidade do Rio de Janeiro (UNIRIO). Mestre em Microbiologia Médica pela Faculdade de Medicina da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Doutora em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da UFRJ e Biologista da Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro (COMLURB).

Juacyara Carbonelli Campos⁽¹⁾

Engenheira Química pela Escola de Química – UFRJ. Doutora em Engenharia Química pela COPPE/UFRJ. Professora Titular do Departamento de Processos Inorgânicos da Universidade Federal do Rio de Janeiro (DPI/EQ/UFRJ). Professora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos (UFRJ)

Endereço⁽¹⁾: Av. Athos da Silveira Ramos nº 149, Bloco E, sala E 206 – Centro de Tecnologia – Cidade Universitária – Ilha do Fundão – Rio de Janeiro – RJ – CEP:21941-909 e-mail: juacyara@eq.ufrj.br

RESUMO

O lixiviado de resíduos da construção civil é um líquido percolante que se origina quando a água atravessa os resíduos resultantes de construções e demolições (RCD). O tratamento do lixiviado pode incluir processos físico-químicos, biológicos ou uma combinação de ambos, dependendo da composição e da quantidade do líquido a ser tratado. As normas padrão brasileiras definem limites máximos permitidos para as condições e padrões de descarga de efluentes líquidos, além de propor metodologias para verificar as concentrações através das medições dos parâmetros de qualidade da água. Este trabalho tem como objetivo avaliar os possíveis impactos ambientais gerados pelos resíduos de construção civil coletados pelo serviço de remoção gratuita na cidade do Rio de Janeiro. A metodologia de pesquisa foi baseada na ABNT NBR 10004 e pela resolução 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, modificada pelas resoluções: 348/2004, 469/2015, 431/2011 e 448/2012. Os dados obtidos foram comparados entre si e, foi observado que os valores médios das amostras estão dentro dos limites permitidos pelas legislações apresentadas.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos, construção civil, lixiviado, solubilização, parâmetros físico-químicos.



INTRODUÇÃO

Vivemos em uma “Sociedade de Consumo”, onde a predominância da produtividade de bens, serviços e de diversas atividades humanas, tem como consequência o aumento da geração de inúmeros resíduos, entre eles, aqueles oriundos da construção civil (Resíduos da Construção Civil - RCC) (Arantes *et al.* 2021).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída através da Lei no 12.305 de 02 de agosto de 2010 e regulamentada pelo Decreto no 10.936 de 12 de janeiro de 2022, pauta a maneira que o país lida com resíduos e rejeitos. Essas leis definem os RCC como: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis (Brasil, 2010).

A Resolução CONAMA nº 307/2002 foi criada com o propósito de regulamentar medidas destinadas a minimizar os impactos ambientais decorrentes do gerenciamento desses materiais. Neste regulamento, os resíduos são classificados em quatro categorias. Sendo: Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados; Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações; Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; Classe D - são resíduos perigosos oriundos do processo de construção.

O descarte inadequado das parcelas dos resíduos de classe B, C e D podem causar diversos impactos no solo, como contaminação do lençol freático e das águas superficiais, além de expor o ambiente a presença de vetores como agentes patogênicos e sinantrópicos. Os resíduos de classe B podem conter metais pesados e substâncias tóxicas em sua composição, os de classe C podem gerar gases e líquidos durante a decomposição e os da classe D podem gerar partículas e poeiras durante o processo de descarte que futuramente se espalharam pelo ar e contaminam o solo e o ambiente ao redor do aterro (Córdoba, 2014).

Na cidade do Rio de Janeiro, em 2022, aproximadamente 8.905 toneladas por dia de resíduos sólidos urbanos são produzidas. Desse total, cerca de 1.007 toneladas por dia são provenientes de resíduos de construção e demolição (RCC) e grandes geradores, representando aproximadamente 11,31% do volume total de resíduos da cidade (Comlurb, 2022). Esses números destacam a preocupação com a quantidade significativa de RCC em relação ao total de resíduos gerados na cidade.

A Prefeitura do Rio disponibiliza o serviço de remoção de entulho, enquanto a Comlurb (Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Município do Rio de Janeiro) é encarregada da coleta e remoção de resíduos de construção civil não perigosos - inertes, conforme definido pela NBR 10004/04, destinados por pequenos geradores (Comlurb, 2022). Todas as informações pertinentes sobre os procedimentos e os tipos de resíduos aceitos estão disponíveis no site da Rio Prefeitura.

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre os Resíduos Sólidos no Brasil, o material de maior percentual encontrado nos resíduos de construção civil é a argamassa, com particular na argamassa de concreto. Com o segundo maior percentual está a brita corrida, seguidos de concreto, blocos, orgânicos e outros (Abrecon, 2015).

A diversidade de aplicações industriais, domésticas, agrícolas, médicas e tecnológicas resultou em ampla disseminação de metais no meio ambiente, gerando inquietações sobre os potenciais efeitos na saúde humana e no ecossistema (Tchounwou, 2012).

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo a análise de parâmetros físico-químicos do lixiviados gerados em células de confinamento de resíduos de construção civil coletados pelo serviço de remoção gratuita da Comlurb na cidade do Rio de Janeiro, assim como sua caracterização.

METODOLOGIA UTILIZADA

Este trabalho teve como foco avaliar os possíveis impactos ambientais gerados pelos resíduos de construção civil coletados pelo serviço de remoção gratuita na cidade do Rio de Janeiro, através de sua análise gravimétrica e no teste de solubilização.

A metodologia inicial deste trabalho analisou os RCC coletados pela Comlurb, que compreendeu em amostras provenientes de obras em diversas Áreas de Planejamento da cidade, independente da sua diversidade socioeconômica.

Os resíduos foram encaminhados à Usina de Reciclagem e Compostagem de Jacarepaguá da Companhia Municipal de Limpeza Urbana – Comlurb, pelo serviço de remoção gratuita da Comlurb, localizada em Vargem Pequena na rua Américo Souza Braga, local de realização dos ensaios.

Em março de 2023, um total de cinco amostras, com cerca de 10 kg cada, foram analisadas.

Os resíduos recebidos foram separados (Figura 1) e pesados em balanças distintas. Para os resíduos leves, foi utilizada uma balança analítica de maior precisão, enquanto para os resíduos pesados, foram empregadas balanças mecânicas com capacidade superior de suportar cargas.

Considerando que os materiais cimentícios compõem tanto a argamassa quanto o concreto, neste estudo optou-se por agrupar esses componentes em uma única fase denominada argamassa/concreto. Da mesma forma, devido à impossibilidade de separar areia e solo, decidiu-se agrupar esses elementos em uma única fase denominada areia/solo.

Para avaliar o potencial poluidor do extrato solubilizado do resíduo de construção e demolição, foi seguido o procedimento descrito na norma NBR 10006, baseado na Resolução no 307 do CONAMA. O procedimento foi adaptado para as amostras deste estudo e incluiu as seguintes etapas: uma parcela de 1,54 kg da amostra foi seca em estufa a uma temperatura de até 42 °C para a determinação do teor de umidade. Após a secagem, a amostra foi peneirada com uma malha de 9,5 mm, e uma quantidade de 250 g (em base seca) do resíduo foi pesada em um becker de 2.000 mL. Em seguida, foram adicionados 1.000 mL de água destilada isenta de orgânicos ao becker, e a amostra foi agitada em baixa velocidade por 5 minutos com um agitador mecânico digital. O frasco foi coberto com filme de PVC e a amostra foi deixada em repouso por 7 dias (Figura 2), durante os quais a temperatura ambiente foi monitorada por um higrômetro termômetro digital, registrando medições de até 25 °C. Após esse período, a solução foi filtrada primeiro com papel de filtro de 25 µm e depois com um aparelho de filtração equipado com membrana filtrante de 0,45 µm de tamanho de poro. Por fim, o filtrado resultante foi definido como extrato solubilizado.

Foram avaliados os seguintes parâmetros do extrato solubilizado: Alcalinidade (mg/L), Condutividade Elétrica (µS/cm), Cloreto (mg/L), DQO (mg/L), Dureza (mg/L), Temperatura (°C), Teor de umidade (%), Carbono orgânico e inorgânico (mg/L), Turbidez (UNT) e pH de acordo com as metodologias descritas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater e USEPA - Test methods for evaluating solid waste: Physical/Chemical methods* - 2017. Nessa pesquisa, a caracterização e os parâmetros físico-químicos do lixiviado foram determinados no laboratório do Centro de Pesquisas Aplicadas - Comlurb, exceto as concentrações de carbono orgânico e inorgânico, que foram analisadas no Laboratório de Tratamento de Águas e Reúso de Efluentes - Labtare (EQ/UFRJ).

Para avaliação gravimétrica, foi conduzida a análise gravimétrica das frações de RCC, separadas manualmente, de acordo com sua classificação em: Areia/solo; Argamassa/concreto; Ladrilho; cerâmica vermelha/cerâmica branca; Tijolo; Pedra; Outros (plástico, papel, papelão, metal, vidro e madeira); Gesso; Lixas, massa corrida, massa de vidro, sacos de cimento; e solventes, amianto.



Figura 1: Amostras coletadas pelo serviço de remoção gratuita da Comlurb (A), caracterização dos resíduos (B).



Figura 2: Ilustração da amostra em repouso para a extração do extrato solubilizado.

RESULTADOS OBTIDOS

Composição Gravimétrica

De acordo com a composição gravimétrica dos resíduos desse estudo, demonstrada na Tabela 1, é possível afirmar que a maior fração percentual dos resíduos é composta por areia/solo com 59,60%, seguidos por argamassa/concreto com 24,13%.

Tabela 1: Percentual da composição gravimétrica dos resíduos de construção e demolição.

CLASSE	CLASSIFICAÇÃO DA AMOSTRA	FRAÇÃO %
A	Areia/solo	59,60
	Argamassa/concreto	24,13
	Ladrilho	12,11
	Cerâmica vermelha/cerâmica branca	1,69
	Tijolo	1,23
	Pedra	0,91
B	Outros (plástico, papel, papelão, metal, vidro e madeira)	0,32
	Gesso	0,0
C	Lixas, massa corrida, massa de vidro, sacos de cimento	0,0
D	Solventes, amianto	0,0

A cerâmica polida, constituída pela parcela de ladrilhos e azulejos, representa 12,11 %. Já os grupos cerâmicos não polidos, constituídos basicamente por tijolos e telhas cerâmicas, representam 2,92 %. Segundo os estudos de Zordan (1997) os materiais cerâmicos polidos são considerados um impasse na resistência dos concretos fabricados a partir do entulho. Devido estes materiais apresentarem pelo menos uma das superfícies polidas a aderência entre elas e a matriz do concreto é prejudicada.

É importante ressaltar que foi observado uma fração de 0,32 % de resíduos da classe B. Pela resolução CONAMA nº431/11, neste grupo estão as parcelas de plásticos, papel, papelão, metais, vidros e madeiras. Nota-se uma fração pequena quando comparado às frações de areia/solo e de argamassa/concreto. Uma possível hipótese para a pequena porcentagem de resíduos da classe B é que os geradores estejam aproveitando a oferta da Comlurb para descartar seus entulhos sem custos. No entanto, é crucial ressaltar que os resíduos de classe B foram encontrados na amostra em questão, mesmo que em menor quantidade.

No processo de caracterização dos resíduos não foram encontradas parcelas de gesso. O gesso é classificado pela resolução CONAMA nº431/11 como resíduo da classe B. No entanto, neste estudo, foi determinado que, na presença de gesso, ele seria analisado separadamente devido ao seu potencial de reciclagem e sua aplicabilidade em processos industriais para a produção de novos produtos. Isso se deve à composição química do gesso, que contém o componente sulfato de cálcio duplamente hidratado. É crucial adotar uma gestão adequada desses resíduos para evitar a liberação de enxofre no ambiente, o que pode levar à formação de gás sulfídrico. Esse gás tem o potencial de causar danos tanto ao meio ambiente quanto à saúde humana. Em contrapartida, a ausência deste material indicia que possivelmente houve um sistema eficiente na separação desses resíduos.

Após uma análise detalhada, constatou-se a ausência de resíduos pertencentes aos grupos C e D no entulho, indicando conformidade com as diretrizes de gestão de resíduos. Visto que, ambos grupos não têm potencial de reciclagem devido às suas propriedades químicas, físicas e/ou contaminantes.

Moreira e Ferreira (2013) realizaram uma análise crítica da gestão dos Resíduos de Construção Civil (RCC) e mostraram no estudo que para atingir uma sociedade consciente e responsável dos impactos ambientais ocasionados pelos resíduos de construção civil é necessário a cooperação de todas as partes interessadas, pois o direcionamento correto dos resíduos irá contribuir para uma sustentabilidade ambiental.

Ensaio de Solubilização

Os resultados dos parâmetros analisados estão expostos na Tabela 2. Dos parâmetros analisados, nenhum foi superior ao preconizado pelo CONAMA 430 (2011) e pelo Anexo G da NBR 10004 (2004).

Tabela 2: Resultados dos parâmetros analisados no extrato solubilizado das amostras de entulho do Rio de Janeiro.

Parâmetro	Unidade	Amostra 1	Amostra 2	Valores médios
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	69	71	70
Condutividade Elétrica	µS/cm	283,4	235,5	259,45
Cloreto	mg/L	4	4	4
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	mg/L	ND	ND	ND
Dureza	mg CaCO ₃ /L	92	86	89
Temperatura	°C	26	26	26
Carbono Orgânico (COT)	mg/L	1,29	0,63	0,96
Turbidez	UNT	24,30	23,27	23,72
pH	-	8,52	8,56	8,54
Carbono Inorgânico (CI)	mg/L	16,78	12,26	14,52

ND - Não detectado; VMP - Valor Máximo permitido.

O ensaio de solubilização é um fator elementar na obtenção de informações sobre os potenciais impactos ambientais dos resíduos, pois auxilia na identificação de substâncias solúveis que podem ser lixiviadas para o solo ou águas subterrâneas.

O percentual de umidade determinado nas amostragens foi de 31,36%. Os registros de temperatura do extrato solubilizado foram de 26 °C, indicando valores próximos à temperatura ambiente medida no laboratório. As normativas em vigor estipulam que a temperatura deve ser mantida abaixo de 40 °C, e observa-se que as temperaturas medidas não excederam esse limite.

Frequentemente, o carbono inorgânico é encontrado na forma de carbonatos e bicarbonatos dissolvidos na água que percola através dos resíduos. Quando esses compostos interagem com a água, elevam o pH, tornando a solução mais alcalina (Moravia, 2010). O carbono inorgânico pode estar ligado à alcalinidade dos lixiviados em aterros de Resíduos de Construção e Demolição (RCD).

Portanto, a presença de carbono inorgânico nos lixiviados de aterros destes resíduos pode ter um impacto direto na alcalinidade desses lixiviados, afetando as propriedades químicas da solução. Isso, por sua vez, pode ter implicações significativas na gestão e tratamento desses lixiviados, além do impacto ambiental associado à sua liberação. O monitoramento cuidadoso do carbono inorgânico e da alcalinidade é crucial para compreender e gerenciar adequadamente esses processos nos aterros.

CONCLUSÕES

Na caracterização dos resíduos, nota-se que mesmo que em pequenas quantidades houve uma fração de resíduos de Classe B. Contudo, não foram detectados vestígios de gesso ou amianto. No entanto, os resíduos de classe C e D não foram encontrados.

É importante ressaltar que tanto o gesso quanto o amianto são materiais que suscitam preocupações relevantes em relação à saúde dos trabalhadores da construção civil e ao meio. Por isso, é imprescindível adotar medidas específicas para o manuseio seguro e a disposição adequada desses materiais, a fim de mitigar potenciais impactos adversos.

É necessário adotar uma abordagem crítica para destacar a importância da conscientização sobre a reciclagem e o manejo sustentável dos resíduos da construção civil (RCC) de outras categorias, já que o pequeno gerador



tem a responsabilidade de separar e encaminhar corretamente ao local de coleta a sua porção de resíduos que são aceitos pela Comlurb para o recolhimento.

Pela caracterização empregada, neste estudo, as amostras de lixiviados não apresentaram um potencial poluidor em suas análises químicas.

Os valores médios das amostras estão dentro dos limites permitidos pelas legislações apresentadas. Essa conformidade era esperada, considerando que os resíduos não perigosos (Classe II) coletados pela Comlurb são classificados pela classe B - Inertes, conforme especificado pela NBR 10004/04. É importante ressaltar que, para essas amostras, a fração de resíduos de Classe B não teve influência. No entanto, não se pode generalizar esse fato.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRECON, 2015. Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. Disponível em: <<https://sinir.gov.br/informacoes/tipos-de-residuos/residuos-solidos-da-construcao-civil/>>. Acesso em: 5 de fev. 2024.
2. ARANTES, M. V. C.; PEREIRA, R. S. *Critical Analysis of the 10 Years of Creation and Implementation of the National Solid Waste Policy (PNRS) in Brazil*. Revista Liceu On-line, São Paulo, v. 11, n. 1 p. 48-66, jan./jun. 2021.
3. ABNT, 2004. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10004. Resíduos sólidos – Classificação. BRASIL, 2004.
4. ABNT, 2004. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10006. Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. BRASIL, 2004.
5. BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 2010.
6. BRASIL. Decreto nº 10.936. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF, 2022.
7. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 307 - Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Conselho Nacional do meio ambiente. Brasília, DF, 2002.
8. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 357 - 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. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Conselho Nacional do meio ambiente. Brasília, DF, 2005.
9. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 430 -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. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Conselho Nacional do meio ambiente. Brasília, DF, 2011.
10. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 431 - Estabelece nova classificação para o gesso. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Conselho Nacional do meio ambiente. Brasília, DF, 2011.
11. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 448. Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA. Conselho Nacional do meio ambiente. Brasília, DF, 2012.



12. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução n° 469. Altera a Resolução CONAMA 307, de 05 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Conselho Nacional do meio ambiente. Brasília, DF, 2015.
13. CÓRDOBA, R. E. Estudo do potencial de contaminação de lixiviados gerados em aterros de resíduos da construção civil por meio de simulações de colunas de lixiviação. 2014. Tese (Doutorado em ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.
14. COMLURB. 2022. Relatório anual de geração de resíduos na Cidade do Rio de Janeiro. Comunicação interna. 2022.
15. MORAVIA, W. G. Avaliação do tratamento de lixiviado de aterro sanitário através de processo oxidativo avançado conjugado com sistema de separação por membranas. 2010. Tese (Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais. 2010.
16. MOREIRA, H. C., FERREIRA, A. R. L. Análise Crítica da Gestão de Resíduos de Construção Civil: Estudo de caso do Município do Rio de Janeiro. 2013. Graduação (Engenheiro) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.
17. PORTARIA "N" COMLURB. N° 001 de 03 de fevereiro de 2022. Estabelece as diretrizes e procedimentos para cadastrar e autorizar pessoas jurídicas a prestar serviços de coleta e remoção de Resíduos de Construção Civil - RCC e Resíduos Sólidos Inertes - RSI na Cidade do Rio de Janeiro. 2022.
18. RIO PREFEITURA. Remoção de entulho e bens inservíveis - Carioca Digital. Disponível em: <<https://carioca.rio/servicos/remocao-de-entulho-e-bens-inserviveis/#:~:text=A%20COMLURB%20somente%20recolhe%20entulho,sof%C3%A1s%20eletrodom%C3%A9sticos%20entre%20outros.>>>. Acesso em: 16 abr. 2024.
19. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater e USEPA - Test methods for evaluating solid waste; Physical/Chemical methods - 2017.
20. TCHOUNWOU, P.B; YEDJOU, C, G.; PATLOLLA, A. K.; e SUTTON, D. J. Centro NIH-RCMI de Saúde Ambiental, Faculdade de Ciências, Engenharia e Tecnologia, Universidade Estadual de Jackson, 1400 Lynch Street, Box 18750, Jackson, MS 39217, EUA, 2012.
21. ZORDAN, S. E. A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto. 1997. Dissertação (Mestre em ciências em engenharia civil) - Universidade Estadual de Campinas, 1997.