



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE PLANALTINA-DF

ANA LAURA DE ASSIS FERREIRA

**GESTÃO DE RESÍDUOS PERIGOSOS: ESTUDO DE CASO
DO CROMO GERADO PELA ANÁLISE DA MATÉRIA ORGÂNICA
EM LABORATÓRIO DE FERTILIDADE DO SOLO**

ANA LAURA DE ASSIS FERREIRA

**GESTÃO DE RESÍDUOS PERIGOSOS: ESTUDO DE CASO
DO CROMO GERADO PELA ANÁLISE DA MATÉRIA ORGÂNICA
EM LABORATÓRIO DE FERTILIDADE DO SOLO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade de Brasília, ao curso de Gestão ambiental, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Gestão Ambiental.

Orientador: Antonio de Almeida Nobre Júnior.

FICHA CATALOGRÁFICO

Ferreira, Ana Laura

Gestão de resíduos perigosos: estudo de caso do cromo gerado pela análise de matéria orgânica na análise de solo em laboratório de fertilidade do solo. Planaltina – DF, 2023. 41 f.

Artigo – Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília.
Curso de Bacharelado em Gestão Ambiental.

Orientador: Antonio Almeida Nobre Júnior.

1. Resíduos sólidos 2. Metal pesado 3. Destinação final. I. Ferreira, Ana. II. Gestão de resíduos perigosos: estudo de caso do cromo gerado pela análise de matéria orgânica em laboratório de fertilidade do solo.

Ana Laura de Assis Ferreira

Gestão de resíduos perigosos: estudo de caso do cromo gerado pela análise de matéria orgânica em laboratório de fertilidade do solo.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Gestão Ambiental da Faculdade UnB Planaltina, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Gestão Ambiental.

Banca Examinadora:

Prof.. Antonio de Almeida Nobre Júnior
Orientador

Profa. Elaine Nolasco Ribeiro
Examinadora Interno

Prof. Mauro Francisco Pinheiro da Silva
Examinador Interno

Química Daniela Húngaro Comegno
Examinadora Externa

Planaltina – DF, fevereiro, 2023.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por ter alcançado esse sonho e por ser meu guia em todas as dificuldades.

A todos os professores que ensinaram e incentivaram a minha formação como gestora ambiental e a UnB por me oferecer um local de estudo e aprendizados que jamais esquecerei; em especial ao meu professor orientador, Antonio Nobre, por todos os ensinamentos e ajuda em prol da elaboração da minha pesquisa.

Agradeço também aos meus amigos da Gestão Ambiental por me escutarem e me ajudarem em todos os momentos, durante a minha formação como gestora ambiental.

A empresa na qual faço parte há 4 anos, especialmente a Daniela Húngaro Comegno, que me concedeu a oportunidade de trabalho e possibilitou a realização deste presente trabalho, também agradeço aos colegas de trabalho, que me ajudarem a crescer profissionalmente.

Ao meu saudoso pai, pela criação e amor que me deu, que faz parte de quem sou hoje, sempre o terei em meu coração.

A minha mãe que é meu porto seguro e apoio para todas as minhas conquistas, por estar ao meu lado em todos os momentos, incentivando-me a ser melhor sempre.

Ao meu namorado Higor por sempre me apoiar e acreditar em mim, pela compreensão e ajuda carinhosa em todos os momentos.

Agradeço a toda minha família, em especial ao meu irmão Isaú, aos meus padrinhos João e Valdenia, a minha tia Rosimeire por sempre acreditarem em mim e me apoiarem em todo o processo acadêmico.

E em fim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, deixo registrado meu apreço e minha gratidão.

BIOGRAFIA DA AUTORA

Técnica em saneamento, auxiliar de laboratório e graduanda em Gestão Ambiental, sempre desejei que o meu trabalho fosse voltado às organizações e a sustentabilidade, chegando ao tema do presente trabalho de conclusão de curso vinculado ao laboratório de análise de fertilidade de solos no qual sou parte faz 4 anos, visando a contribuir com as ações ambientais efetivas da empresa.

RESUMO

O cromo (Cr) pode ser encontrado naturalmente em vários estados de oxidação. O estado hexavalente, Cr (VI), é altamente tóxico, sendo que a maior parte do Cr (VI) é de origem industrial. O cromo trivalente - Cr (III) é encontrado naturalmente no organismo humano, ou seja, o Cr (III) somente causa problemas de intoxicação quando ingerido em grandes quantidades; todavia, faz-se necessária a contenção da liberação desse metal pesado em excesso ao meio ambiente. O uso e o descarte indevido do cromo contaminam o ar, o solo e a água, ao ser lixiviado e infiltrar-se chega ao lençol freático, podendo impactar negativamente a flora e a fauna e, também, prejudicar a saúde humana causando graves doenças que variam de lesões cerebrais, disfunções renais e pulmonares, câncer. O objetivo geral deste trabalho foi verificar a conformidade dos procedimentos de uso do cromo e o descarte do resíduo perigoso gerado pela análise química da matéria orgânica, em um laboratório de fertilidade do solo. A gestão empresarial de qualidade deve ter protocolos especiais para aquisição, armazenamento, manuseios, controle e monitoramento de produtos químicos perigosos, além do descarte adequado de resíduos, sólidos e líquidos, causadores de contaminação e poluição, prevenindo danos à saúde humana e ao meio ambiente. Os procedimentos metodológicos verificaram a quantidade de resíduos químicos perigosos gerados e, também, foi elaborado um diagrama de fluxo. O laboratório estudado segue as normas de segurança no trabalho e ambientais, com uso equipamentos de proteção individual e o resíduo perigoso gerado na análise da matéria orgânica do solo é adequadamente armazenado até que seja coletado e transportado para a destinação final por empresa especializada. Ainda, o laboratório realiza o tratamento químico do resíduo fazendo a redução química do Cr (VI) para Cr (III), o que torna mais seguro o transporte e facilita tratamentos posteriores.

Palavras-chave: Metal pesado, Resíduos sólidos, Segurança no trabalho, Contaminação ambiental, Conformidade.

ABSTRACT

Chromium (Cr) can be found naturally in various oxidation states. The hexavalent state, Cr (VI), is highly toxic, and most of the Cr (VI) is of industrial origin. Trivalent chromium - Cr (III) is found naturally in the human body, that is, Cr (III) only causes intoxication problems when ingested in large quantities; however, it is necessary to contain the release of this heavy metal in excess to the environment. The improper use and disposal of chromium contaminates the air, soil and water, when it is leached and infiltrates it reaches the water table, which can negatively impact the flora and fauna and also harm human health, causing serious diseases that range from brain injuries, kidney and lung dysfunctions, cancer. The general objective of this work was to verify the conformity of procedures (compliance) for the use of chromium and the disposal of hazardous waste generated by the chemical analysis of organic matter, in a soil fertility laboratory. Quality business management must have special protocols for the acquisition, storage, handling, control and monitoring of hazardous chemicals, in addition to the proper disposal of waste, solids and liquids, which cause contamination and pollution, preventing damage to human health and the environment . The methodological procedures verified the amount of hazardous chemical waste generated and a flow diagram was also prepared. The laboratory studied follows safety at work and environmental standards, using personal protective equipment and the hazardous waste generated in the analysis of soil organic matter is properly stored until it is collected and transported to the final destination by a specialized company. Furthermore, the laboratory performs the chemical treatment of the residue by chemically reducing Cr (VI) to Cr (III), which makes transportation safer and facilitates subsequent treatments.

Keywords: Heavy metal, Solid waste, Occupational safety, Environmental contamination, Compliance.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 – Tabela Periódica	14
Figura 2 – Diagrama das camadas de elétrons do cromo, o 24º elemento da tabela periódica.	15
Figura 3 - Ciclo do cromo no meio ambiente e a contaminação ambiental	18
Figura 4 - Localização da área urbana do município de Formosa (GO).....	25
Figura 5 - Solução crômica usada na determinação do teor de matéria orgânica do solo.	27
Figura 6 - Reagentes usados na análise da matéria orgânica do solo.....	28
Figura 7 - Rótulo do reagente: Dicromato de Sódio	29
Figura 8 - Equipamentos de segurança para manuseio de produtos e resíduos de cromo	30
Figura 9 - Diagrama da redução química da solução sulfocrômica	31
Figura 10 - Espectrofotômetro	32
Figura 11 - Diagrama de fluxo da quantidade de resíduos gerados pelas análises de MOS	33

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Importância dos impactos do cromo na saúde humana e meio ambiente.	16
Tabela 2. Padrões de lançamento de efluentes segundo Resolução 430/2011.....	23
Tabela 3. Quantidade de resíduo químico contendo cromo gerado pelo laboratório de estudo no período de 30 dias.	33
Tabela 4 Empresas de serviços de coleta de resíduos perigosos.....	35

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Redução da oxidação do cromo na análise de MOS.....	30
---	----

LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Conama - Conselho Nacional do Meio Ambiente

Cr (III) - Cromo Trivalente, Cr³⁺

Cr (VI) - Cromo Hexavalente, Cr⁶⁺

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Ibama- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente

MOS - Matéria Orgânica do Solo

NRs – Normas Regulamentadoras

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

Sumário

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivo Geral	13
1.2 Objetivos Específicos	13
1.3 Justificativas	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 O Cromo e Seus Impactos	14
2.2 Ciclo do Cromo	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Objeto de Estudo	25
3.2 Procedimentos Metodológicos	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

1. INTRODUÇÃO

Produtos tóxicos gerados principalmente por indústrias e descartados de forma incorreta podem contaminar os seres vivos e o meio ambiente (ar, solo, águas superficiais e subterrâneas). Problemas relativos aos contaminantes ambientais estão associados ao crescente processo de industrialização e urbanização verificado desde o século XIX (CARNEIRO, 2009).

A gestão de produtos e resíduos químicos com o controle efetivo da geração, armazenamento, recuperação, reciclagem, reutilização, tratamento, coleta, transporte e destinação final de resíduos perigosos é de extrema importância para a saúde do homem, a proteção do meio ambiente, o manejo dos recursos naturais e o desenvolvimento sustentável (MMA, 1992).

Farias et al., (2006) pontuam que as atividades humanas são as principais causadoras de impactos negativos, com destaque o descarte de poluentes no ar, água, solo e água (superficial e subterrânea) e apontam que os principais poluentes têm origem industrial, agrícola, laboratorial, domésticas, entre outras.

Hoje já se tem certa conscientização por parte das indústrias químicas e órgãos ambientais sobre a necessidade de tratamento eficaz a qualquer tipo de resíduo químico perigoso gerado e, também, do descarte adequado, porque pode ser prejudicial ao homem e ao meio ambiente. (FARIAS et al., 2006)

Nas atividades de laboratório de solo para análise da fertilidade usam-se diversos produtos químicos para as determinações de macro e micronutriente e, também, matéria orgânica.

Na análise de matéria orgânica do solo usa-se o cromo, fazendo com que aumente a preocupação sobre seu acúmulo no meio ambiente e cadeia trófica, uma vez que pode ocorrer a oxidação do material orgânico e dos elementos químicos presentes nos resíduos, acarretando em poluição (CASTILHOS et al., 2001)

No presente trabalho, buscou-se acompanhar o fluxo do cromo utilizado em um laboratório de fertilidade solo para fins agrícolas, desde o seu armazenamento, manuseio, tratamento e o descarte adequado dos resíduos líquidos gerados pela análise de matéria orgânica, para assim auxiliar a gestão do laboratório, em conformidade com as políticas de manejo e gerenciamento de resíduos.

A destinação correta do resíduo está prevista na legislação, sendo da responsabilidade de todos que gerem resíduos perigosos o seu descarte adequado, para que não prejudique o meio ambiente e a população; portanto, é preciso consciência e responsabilidade social.

Dessa forma, a questão central é: O laboratório estudado observa as normas ambientais de manuseio e descarte de resíduos químicos perigosos gerados das análises de solo que podem ser danosos ao homem e ao meio ambiente?

1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral é verificar a conformidade dos procedimentos de uso do cromo e o descarte do resíduo líquido perigoso gerado pela análise química da matéria orgânica, em um laboratório de fertilidade do solo.

1.2 Objetivos Específicos

- Descrever o uso do cromo e os resíduos líquidos gerados pela análise química da matéria orgânica do solo.
- Avaliar a conformidade do descarte e destinação final dos resíduos perigosos gerados, de acordo com a legislação ambiental e normativas vigentes.
- Atualizar cadastro de empresas prestador de serviços ambientais para destinação final dos resíduos perigosos gerados.

1.3 Justificativas

A gestão empresarial de qualidade deve ter protocolos especiais para aquisição, armazenamento, manuseios, controle e monitoramento de produtos químicos perigosos, além do descarte adequado de resíduos, sólidos e líquidos, causadores de contaminação e poluição, prevenindo danos à saúde humana e ao meio ambiente.

As organizações e seus sistemas de gestão ambiental são partes fundamentais para a melhoria da sustentabilidade (GOMES JÚNIOR et al., 2010). O monitoramento e o controle de resíduos perigosos são importantes para a manutenção da qualidade ambiental, estabelecendo medidas de preservação, conservação ou intervenção ambiental.

O laboratório estudado, na busca por soluções adequadas para o descarte do resíduo com cromo gerado pela a análise de MOS, optou por contratar uma empresa responsável por sua destinação final, sendo oportuno manter atualizado um cadastro de prestadores de serviços no Estado de Goiás (GO) e no Distrito Federal (DF).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O Cromo e Seus Impactos

O cromo, cujo símbolo é “Cr” possui número atômico 24 e seu peso atômico é de 51,996 u; e, é um metal de transição que fica localizado no Grupo 6 (Figura 1).

1	2											18	19	20				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
H hidrogênio 1,008	He hélio 4,0026											Ar argônio 39,948	Kr criptônio 83,798(2)	Xe xenônio 131,29	Rn radônio [222]			
Li lítio 6,94	Be berílio 9,0122	B boro 10,81	C carbono 12,011	N nitrogênio 14,007	O oxigênio 15,999	F flúor 18,998	Ne neônio 20,180	Na sódio 22,990	Mg magnésio 24,305	Al alumínio 26,982	Si silício 28,085	P fósforo 30,974	S enxofre 32,06	Cl cloro 35,45	Ar argônio 39,948	Kr criptônio 83,798(2)	Xe xenônio 131,29	
K potássio 39,098	Ca cálcio 40,078(4)	Sc escândio 44,956	Ti titânio 47,867	V vanádio 50,942	Cr cromo 51,996	Mn manganês 54,938	Fe ferro 55,845(2)	Co cobalto 58,933	Ni níquel 58,693	Cu cobre 63,546(3)	Zn zinco 65,38(2)	Ga gálio 69,723	Ge germânio 72,630(8)	As arsênio 74,922	Se selênio 78,971(8)	Br bromo 79,904	Kr criptônio 83,798(2)	
Rb rubídio 85,468	Sr estrôncio 87,62	Y ítrio 88,906	Zr zircônio 91,224(2)	Nb nióbio 92,906	Mo molibdênio 95,95	Tc tecnécio [98]	Ru rutênio 101,07(2)	Rh ródio 102,91	Pd paládio 106,42	Ag prata 107,87	Cd cádmio 112,41	In índio 114,82	Sn estanho 118,71	Sb antimônio 121,76	Te telúrio 127,60(3)	I iodo 126,90	Xe xenônio 131,29	
Cs césio 132,91	Ba bário 137,33	57 - 71		Hf hafnio 178,49(2)	Ta tântalo 180,95	W tungstênio 183,84	Re rênio 186,21	Os ósio 190,23(3)	Ir irídio 192,22	Pt platina 195,08	Au ouro 196,97	Hg mercúrio 200,59	Tl tálio 204,38	Pb chumbo 207,2	Bi bismuto 208,98	Po polônio [209]	At astato [210]	Rn radônio [222]
Fr frâncio [223]	Ra rádio [226]	89 - 103		Rf rutherfordio [261]	Db dúbnio [268]	Sg seabórgio [269]	Bh bohrio [270]	Hs hássio [278]	Mt meitnério [278]	Ds darmstádio [281]	Rg roentgênio [281]	Cn copernício [285]	Nh nihônio [286]	Fl fleróvio [289]	Mc moscóvio [289]	Lv livermório [293]	Ts tenessino [294]	Og oganesson [294]
		57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71		
		La lantânio 138,91	Ce cério 140,12	Pr praseodímio 140,91	Nd neodímio 144,24	Pm promécio [145]	Sm samário 150,36(2)	Eu eúrópio 151,96	Gd gadolínio 157,25(3)	Tb térbio 158,93	Dy disprósio 162,50	Ho holmio 164,93	Er érbio 167,26	Tm tulio 168,93	Yb itêrbio 173,05	Lu lutécio 174,97		

Figura 1 – Tabela Periódica

Fonte: Batista, 2023.

Descoberto em 1797, por Louis Vauquelin, que encontrou óxido de cromo no mineral Crocoíta ($PbCrO_4$), na França. Louis pulverizou o mineral e precipitou o chumbo, usando ácido clorídrico (HCl), gerando o óxido de cromo trivalente. Em 1800, o químico alemão Tassaert, trabalhando em Paris, encontrou cromo em um novo minério, chamado Cromita. Este minério, $Fe(CrO_2)_2$, tornou-se uma importante fonte de cromo (COLASSO, 2020).

O cromo é um metal brilhante, muito duro e refratário. O estado físico é sólido e é inodoro e não é explosivo nem inflamável. Em baixas temperaturas é inerte devido à formação de uma película de óxido. A densidade é $7,2 \text{ g/cm}^3$. Seu ponto de fusão é 1.857°C e o ponto de ebulição, 2.672°C , e a pressão de vapor é de 1mmHg a 1.616°C (ATSDR, 2018).

O cromo pode ser encontrado em diferentes estados de oxidação, que variam de -2 a 6 (Figura 2), todos eles são compostos coloridos, o que originou seu nome, que vem do grego “Chroma” (ALEJANDRO et al., 2010). Porém, as espécies estáveis, em soluções aquosas, são

as formas de Cr (III) e Cr (VI), as quais são caracterizadas por diferentes propriedades físico-químicas, reatividade química e bioquímica (KOTÁS e STASICKS, 2000).

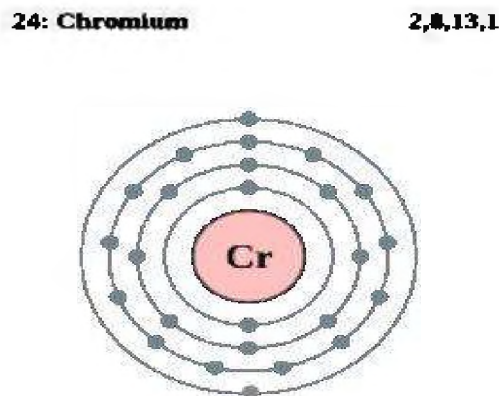


Figura 2 – Diagrama das camadas de elétrons do cromo, o 24º elemento da tabela periódica
Fonte: wikipedia, 2006.

A produção mundial de compostos de cromo pela indústria química é da ordem de 107 toneladas por ano, sendo 60-70% usado em ligas, incluindo aço inoxidável, e 15% usados em processos químicos industriais como curtimento de couro, pigmentos e eletroquímica. O seu amplo uso tem transformado o cromo em um sério poluente do ar, solo e água (VEIT et al., 2008; MOTA et al., 2011).

O cromo pode ser tóxico, por mais que seja um mineral essencial ao homem, isso depende da forma como ele é encontrado, ou seja, sua forma de oxidação (KOTÁS e STASICKS, 2000).

A forma oxidada trivalente – Cr (III) - é natural no meio ambiente, sendo a forma mais estável sob condições de redução. Para os seres vivos, o Cr (III) é essencial para o organismo, não sendo diretamente agressivo ao meio ambiente (SARI et al., 2015).

Mas, no estado de oxidação hexavalente - Cr (VI), possui uma alta solubilidade e maior mobilidade em água, sendo tóxico aos seres vivos, mesmo em baixa concentração. O Cr (VI) é produzido por processos industriais, principalmente para a fabricação de ligas metálicas (KAWA, 2013).

Os efluentes contendo Cr (VI) possuem alto poder de contaminação necessitando tratamento adequado para Cr (III) e posterior destinação final (MAGRO et al., 2013).

Os metais tóxicos são fontes potenciais de degradação ambiental, visto que eles produzem alterações na qualidade do ar, do solo e das águas. Estas alterações têm um impacto direto no

equilíbrio dos ecossistemas, afetando direta ou indiretamente a saúde dos seres humanos, sendo que alguns desses metais são capazes de provocar efeitos tóxicos agudos e câncer.

Dentre os metais tóxicos, o Cr (VI) destaca-se devido à grande gama de utilização em diversos processos industriais, como na indústria do aço e de ligas, indústria de cimento, galvanoplastia, curtumes, entre outras (MAGRO et al., 2013). Embora, o Cr (III) não seja necessariamente um risco para a saúde, em grande quantidade pode acarretar em diversos problemas; isto é, em excesso, em altas concentrações o Cr (III) é tóxico.

Os compostos de Cr (VI) são tóxicos quando inalados e ingeridos, sendo a dose letal de alguns gramas, e é altamente carcinógeno. A maioria dos compostos de Cr (VI) irritam os olhos, a pele e as mucosas, pode provocar danos permanentes nos olhos (KAWA, 2013; ABIQUIM, 2014).

Com o descarte indevido de metais pesados, especialmente o Cr (VI) pode contaminar o meio ambiente e, também, prejudicar a flora, a fauna e a saúde humana causando graves doenças que variam de lesões cerebrais a disfunções renais e pulmonares, câncer (Tabela 1).

Tabela 1 - Importância dos impactos do cromo na saúde humana e meio ambiente.

Item	Importância do impacto	Justificativa
Contaminação do ar, solo e água	Grande	A manipulação e o descarte inadequado dos resíduos com cromo podem contaminar principalmente o solo e a água; lixiviar e infiltrar impactando o lençol freático.
Geração de odor	Média	Solução com cromo pode gerar odor forte, trazer danos aos seres vivos que tiverem contato com o líquido.
Intoxicação da fauna e flora	Grande	Resíduos de cromo podem intoxicar as plantas (alimentos) e espécies animais, bioconcentrando-se na cadeia trófica.
Riscos à saúde Humana	Grande	O solo e água (superficial e aquíferos) contaminados com Cr (III) em alta quantidade, haverá danos à saúde humana pela digestão de alimentos e ingestão de água contaminada.

Fonte: Conama (2005); Sari et al., (2015).

Elaboração da própria autora, 2023.

Shadrek e Mugadza (2013) e Silva e Pedroso (2001) indicam que o aumento do uso de cromo nos processos industriais levou a contaminação do solo e, subsequente, às águas superficiais e subterrâneas; afirmam que quase todo o Cr (VI) disponível no meio ambiente é oriundo de ações antrópicas industriais.

De acordo com a Resolução Conama 357/2005, que 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, a estabelece que a concentração máxima encontrada de cromo total em água doce seja de $0,05 \text{ mg L}^{-1}$, para as classes 1 a 3. Posteriormente, a Resolução Conama 430/2011 aumenta essa concentração de cromo, dependendo do estado de oxidação, aumentando o Cr (VI) para $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ e o Cr (III) para $1,0 \text{ mg L}^{-1}$.

2.2 Ciclo do Cromo

O cromo é um elemento natural que pode ser encontrado no meio ambiente, no ar, nas águas, nas rochas, nos sedimentos, nos solos, nas plantas, nos animais, enfim em toda matéria biológica; sendo que o estado trivalente – Cr (III) - é a forma mais estável sob condições de redução; porém, não é comum a ocorrência natural de concentrações elevadas em águas (BERTOLO et al., 2009).

Já o Cr (VI) é produzido por processos industriais, principalmente na fabricação de ligas metálicas. O estado de oxidação hexavalente - Cr (VI) - possui uma alta solubilidade e maior mobilidade em água, é bioacumulativo no organismo dos seres vivos, sendo tóxico mesmo em baixa concentração (SHADREK e MUGADZA, 2013; SILVA e PEDROSO, 2001).

Devido ao aumento do uso de cromo nos processos industriais, há um excesso deste metal no ambiente, o que acarreta em contaminações do ar, do solo, das águas superficiais e subterrâneas, sendo absorvido pelas plantas e os alimentos usados pelos animais, contamina toda a cadeia alimentar, inclusive os seres humanos (Figura 3).

Bianchin (2011) em seu trabalho relata que os metais não são biologicamente degradáveis como acontece com outros poluentes; embora venham sendo desenvolvidas técnicas para removê-los de solos contaminados, muitas áreas continuam contaminadas.

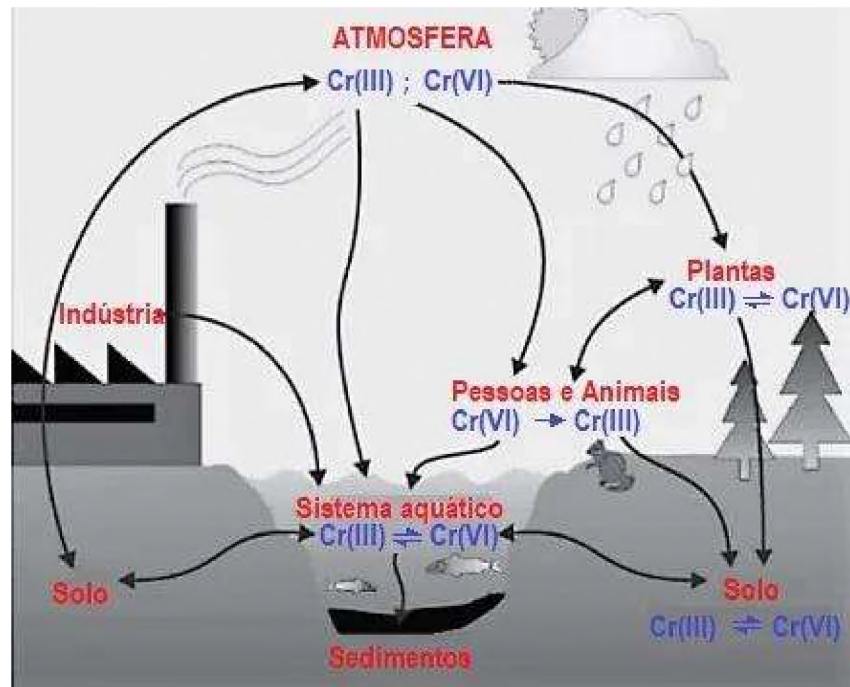


Figura 3 - Ciclo do cromo no meio ambiente e a contaminação ambiental

Fonte: Bielicka et al., 2004.

Os danos provocados pelos contaminantes no solo são desastrosos, afetando o sistema ecológico local, o que torna quase impossível reverter todos os danos causados ao ambiente utilizando-se técnicas de remediação de solos (FAVERO et al., 2007).

Devem-se procurar meios de levar a conscientização às empresas e indústrias sobre o controle e monitoramento de insumos perigosos, produtos, efluentes e resíduos gerados em seus processos, conforme exigido pela legislação. A preocupação com a sustentabilidade tem aumentado nos últimos anos, os órgãos ambientais veem atuando fortemente na aplicação das leis ambientais, dessa forma, a busca por alternativas para o reuso, a reciclagem, o tratamento e a correta destinação de resíduos têm sido alvo de inúmeros estudos (DETTMER, 2008).

2.3. Legislação Ambiental

O Ar, o solo, as águas (superficiais ou subterrâneas) e os sedimentos contaminados por efluentes industriais, dentre outros constituem-se em passivos ambientais, exigem monitoramento e controle, o que em geral é caro. A contaminação por metais pesados agravou-se nas últimas décadas, aumentando a preocupação das indústrias em tratar seus efluentes, somada às buscas por técnicas de remediação de baixo custo (SILVA et al., 2013).

A geração de resíduos exige responsabilidade em relação a correta destinação, seja ele doméstico ou industrial. Como exemplos mais comuns tem-se os resíduos sólidos recicláveis

(lixo comum), os resíduos de construção, os resíduos perigosos e os resíduos presentes nos esgotos domésticos. Algumas substâncias têm descarte com mais facilidade e segurança, porém muitas outras são consideradas perigosas, como resíduos de cromo (TONIN et al., 2020).

A Constituição Federal de 1988, no artigo 225, consagra o direito fundamental de todos, a um meio ambiente ecologicamente equilibrado, determinando que cabe tanto ao Poder Público quanto à sociedade civil o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

§ 1º Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao poder público: [...]

IV - Exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade;

V - Controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente;

VI - Promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente; [...]

§ 3º As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados (BRASIL, 1988).

No artigo 225 da CF de 1988 consagram-se os princípios da precaução e o da prevenção, o princípio do poluidor-pagador e o da responsabilidade objetiva do responsável. Pode-se afirmar que a obrigação ambiental é de todos, portanto manejar os resíduos de serviços de laboratório de solos é dever dos próprios empreendedores e do Estado (municípios, estados e União).

A Lei da Política Nacional do Meio Ambiente, Lei 6.938/1981, define como poluidor a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direta ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental; impondo ao poluidor e ao predador, a obrigação

de recuperar e/ou indenizar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros afetados por sua atividade, independentemente da existência de culpa (BRASIL, 1981).

A Lei de Crimes Ambientais (Lei 9.605/1998), que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, determina que concorre para a prática dos crimes ambientais, na medida da sua culpabilidade, quem sabendo da conduta criminosa de outrem, deixar de impedir a sua prática, quando podia agir para evitá-la (ART. 2º). Responsabiliza, também, as pessoas jurídicas administrativamente, civil e penalmente, nos casos em que a infração seja cometida por decisão de seu representante legal ou contratual, ou de seu órgão colegiado, no interesse ou benefício da sua entidade; ademais, a responsabilidade das pessoas jurídicas não exclui a das pessoas físicas, autoras, coautoras ou partícipes do mesmo fato (Art. 3º). E, ainda, de acordo com o artigo 56, é crime ambiental produzir, processar, embalar, importar, exportar, comercializar, fornecer, transportar, armazenar, guardar, ter em depósito ou usar produto ou substância tóxica, perigosa ou nociva à saúde humana ou ao meio ambiente, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou nos seus regulamentos (BRASIL, 1998).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010, institui princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público, estando sujeitas à observância desta Lei as pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos (Art. 1º). E, no artigo 3º, faz uma série de definições, definido no inciso XVI o termo resíduo sólido:

- resíduo sólido: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviável em face da melhor tecnologia disponível (Grifei);

Os resíduos são classificados quanto a origem, podendo-se enquadrar os resíduos gerados em laboratório de análises químicas de solo como resíduos de atividades comerciais e prestadores de serviços (conforme o Inciso I, alínea d, do Art. 13); e, de acordo com o Inciso II, os resíduos são classificados quanto à periculosidade em perigosos e não perigoso. No Inciso II, alínea a, Art. 13, a PNRS dispõe:

- a) Resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica.

Conforme o Art. 30 da PNRS, é instituída a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a ser implementada de forma individualizada e encadeada, abrangendo os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos. A responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos tem por objetivo:

- I - Compatibilizar interesses entre os agentes econômicos e sociais e os processos de gestão empresarial e mercadológica com os de gestão ambiental, desenvolvendo estratégias sustentáveis;
- II - Promover o aproveitamento de resíduos sólidos, direcionando-os para a sua cadeia produtiva ou para outras cadeias produtivas;
- III - reduzir a geração de resíduos sólidos, o desperdício de materiais, a poluição e os danos ambientais;
- IV - Incentivar a utilização de insumos de menor agressividade ao meio ambiente e de maior sustentabilidade;
- V - Estimular o desenvolvimento de mercado, a produção e o consumo de produtos derivados de materiais reciclados e recicláveis;
- VI - Propiciar que as atividades produtivas alcancem eficiência e sustentabilidade;
- VII - Incentivar as boas práticas de responsabilidade socioambiental.

Ainda, no Art. 37, a PNRS dispõe que a instalação e o funcionamento de empreendimento ou atividade que gere ou opere com resíduos perigosos somente podem ser autorizados ou licenciados pelas autoridades competentes se o responsável comprovar, no mínimo, capacidade técnica e econômica, além de condições para prover os cuidados necessários ao gerenciamento desses resíduos.

Finalmente, podemos destacar o Art. 38 da PNRS que proíbe destinação, disposição final ou lançamento de resíduos sólidos ou rejeitos em praias, no mar ou em quaisquer corpos hídricos e outras formas vedadas pelo poder público. Ademais, a PNRS sujeita os infratores às sanções penais e administrativas previstas em lei, em especial às fixadas na Lei de Crimes Ambientais, sem prejuízo da obrigação de reparar os danos causados, independentemente da existência de culpa, quem manipula, acondiciona, armazena, coleta, transporta, reutiliza, recicla ou dá destinação final a resíduos perigosos de forma diversa da estabelecida em lei ou regulamento (BRASIL, 2010).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) também define normas e regras técnicas de classificação, armazenamento e transporte de resíduos perigosos. A norma técnica NBR 10004/2004, estabelece os critérios para classificação dos resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e a saúde do homem (ABNT, 2004)

De acordo com esta norma (NBR 10004/2004), resíduos perigosos (também chamados resíduos classe D) são aqueles que apresentam periculosidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, ou uma das características que constam nos anexos A ou B da norma. No anexo C - Substâncias que conferem periculosidade aos resíduos – destacamos o cromo e compostos de cromo. No anexo F, que versa sobre a concentração – limite máximo no extrato obtido no ensaio de lixiviação – para o cromo total lixiviado – o limite máximo é de 5 mg. L⁻¹; e, no anexo G – sobre padrões para o ensaio de solubilização, o limite máximo no extrato para o cromo total é 0,05 mg. L⁻¹ (ABNT, 2004).

A NBR 12235/1992, trata do armazenamento de resíduos sólidos perigosos, onde o acondicionamento de resíduos perigosos, como forma temporária de espera para reciclagem, recuperação, tratamento e/ou disposição final, pode ser realizado em contêineres, tambores, tanques e/ou a granel, devendo ser feito de modo a não alterar a quantidade/qualidade do resíduo (ABNT, 992). Se tem, também, a NBR 13221/2003, que dispõe sobre os requisitos para o transporte terrestre de resíduos, de modo a evitar danos ao meio ambiente e a proteger a saúde pública (ABNT, 2003).

Segundo a Resolução Conama 357/2005, que 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, estabelece que a concentração máxima encontrada deste metal – em água doce ou salina, em todas as classes (especial e de 1 a 4), o valor máximo para o cromo seja de $0,05\text{mg L}^{-1}$ (CONAMA, 2005).

A Resolução Conama 430/2011 dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, altera parcialmente e complementa a Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005, passando o valor máximo para o cromo depender o estado de oxidação (Tabela 2):

Tabela 2. Padrões de lançamento de efluentes segundo Resolução 430/2011.

Estado de oxidação	Concentração
Cromo hexavalente	0,1 mg/L
Cromo trivalente	1,0 mg/L

Fonte: Brasil (2011).

2.4. Destinação do Resíduo Químico de Laboratório de Solo

A Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (Embrapa) preocupada com a preservação do meio ambiente, com o desenvolvimento e utilização de tecnologias limpas, iniciou um trabalho para implementação de um programa para gerenciamento de resíduos químicos, porque nos laboratórios de análises químicas de solos para determinação da matéria orgânica são produzidos resíduos químicos passíveis de gerar contaminação ambiental (PAULA, 2018).

Na determinação química da matéria orgânica tem sido utilizado o método de Walkley-Black (oxidação do carbono orgânico por dicromato, na presença de ácido sulfúrico concentrado), sendo este mesmo método o usado no laboratório de estudo.

O resíduo líquido gerado após análise química da matéria orgânica é uma mistura de dicromato de sódio e ácido sulfúrico (solução sulfocrômica), além do solo, o qual é classificado como resíduo perigoso; portanto, à rigor, restam dois tipos de resíduos misturados: um líquido e um sólido, que são ambos armazenados em bombonas plásticas.

Considerando que em laboratórios de solos são gerados resíduos tóxicos contendo cromo, conforme a legislação ambiental vigente, é obrigatório que os resíduos perigosos sejam descartados de forma adequada; sendo necessárias ações de monitoramento e controle para mitigação dos impactos em relação a contaminação do solo e das águas. Assim sendo, é preciso

que haja total neutralização do resíduo, com a redução do excesso de Cr (VI) para Cr (III) para se dar o descarte adequado do resíduo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Por manusear produto perigoso, utilizar uma solução sulfocrômica e produzir resíduo que contém o metal tóxico cromo, os procedimentos metodológicos buscaram verificar se laboratório em estudo observa a legislação ambiental e as normas de segurança no trabalho.

3.1 Objeto de Estudo

O laboratório de solos em estudo localiza-se na cidade de Formosa (GO). Vale ressaltar que a água de abastecimento deste município goiano é captada no córrego Bandeirinha, no Brocotó e em poços tubulares profundos. A Cidade conta com Estação de Tratamento de Água (UTA) e, também, com Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), onde há o tratamento biológico e, ao final, os resíduos líquidos são lançados no Rio Preto, afluente do Rio Paracatu, que deságua no Rio São Francisco (Figura 4).

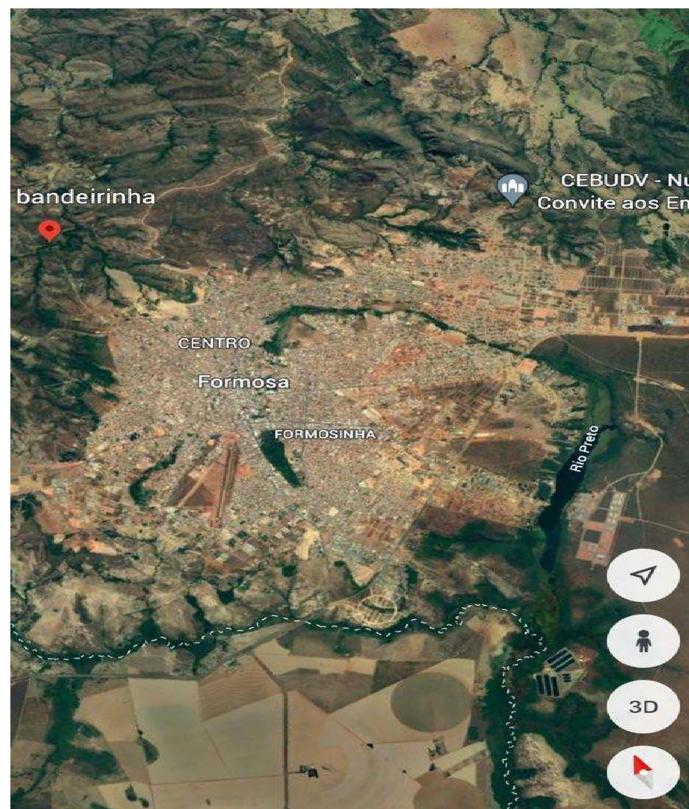


Figura 4 - Localização da área urbana do município de Formosa (GO)

Fonte: Google Earth, 2023.

3.2 Procedimentos Metodológicos

Primeiramente, o presente trabalho apresentou uma breve revisão bibliográfica sobre o cromo, os usos e impactos positivos e negativos do Cr (III) e Cr (VI) no meio ambiente e na saúde humana.

Para verificar o uso de materiais perigosos e a quantidade de resíduos químicos gerados, foi descrito o procedimento de análise da matéria orgânica do solo no laboratório em comento (*in loco*); e, também, foi elaborado um diagrama de fluxo.

Embora o método de determinação química da matéria orgânica utilizado seja o método de Walkley-Black, existem variações nas quantidades de materiais utilizados e de resíduos gerados, características próprias de cada laboratório.

O levantamento de dados sobre o fluxo de materiais e o volume de resíduos gerados foi obtido da observação rigorosa de todas as análises químicas da matéria orgânica do solo realizadas durante 30 dias no laboratório de estudo; sendo que os resíduos foram armazenados em bombonas plásticas de 120 litros.

Para a atualização do cadastro de empresas prestadoras de serviços especializados na destinação de resíduos químicos de laboratório, foi realizada uma pesquisa por meio de inquérito e visitas técnicas a laboratórios químicos, clínicas, hospitais e universidades no Distrito Federal e Estado de Goiás.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A matéria orgânica do solo (MOS) possui compostos de origem vegetal, animal e microbiana, exercendo papel de grande importância para a fertilidade do solo, do ponto de vista químico, físico e biológico; sendo a MOS responsável pela manutenção da biota do solo, pelo fornecimento de nutrientes e retenção de água às plantas, dentre outros fatores.

Na figura 5, apresenta-se a solução sulfocrômica usada para realizar a análise do teor de matéria orgânica no solo. E, na figura 6, são mostrados os reagentes usados nesta solução: dicromato de sódio e ácido sulfúrico.



Figura 5 - Solução crômica usada na determinação do teor de matéria orgânica do solo.

Fonte: Elaboração da própria autora, 2023.



Figura 6 - Reagentes usados na análise da matéria orgânica do solo.

Fonte: Elaboração da própria autora, 2023.

Um dos reagentes usados para a análise de MOS é, portanto, o dicromato de sódio (Figura 7), onde em seu rótulo encontra-se o seguinte trecho:

“Efeitos adversos à saúde humana: Pode causar o cancro por inalação. Pode causar alterações genéticas hereditárias. Nocivo em contato com a pele. Também tóxico por ingestão. Também muito tóxico por inalação. Irritante para as vias respiratórias e pele. Risco de graves lesões oculares. Pode causar sensibilização em contato com a pele. Efeitos ambientais: Muito tóxico para os organismos aquáticos, podendo causar efeitos nefastos a longo prazo no ambiente aquático”.

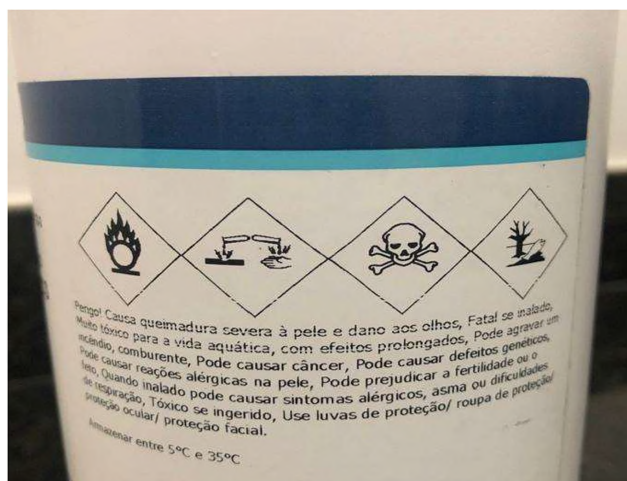


Figura 7 - Rótulo do reagente: Dicromato de Sódio

Fonte: Elaboração da própria autora, 2023.

O dicromato de sódio é, portanto, um reagente perigoso, que deve ser manuseado e descartado da forma correta, caso contrário pode contaminar e causar danos à saúde e ao meio ambiente. Após o uso da mistura de soluções para realização da análise química da MOS, o resíduo líquido gerado contendo cromo se descartado de maneira inadequada, indo contra as normas ambientais estipuladas para este fim, por exemplo descartado na pia do laboratório, pode contaminar a água e chegar aos lençóis freáticos.

Na ficha de informações de segurança do dicromato de sódio encontram-se as seguintes medidas de controle:

- **Precauções pessoais:** Não inalar os pós. Evitar o contato com o produto.
- **Precaução ao meio ambiente:** Não enviar o produto para redes de águas residuais.

Já no manuseio e armazenamento, temos:

- **Prevenção da exposição do trabalhador:** Utilizar equipamentos de proteção individual (EPI) para evitar o contato com a pele e mucosas (Figura 8).
- **Medidas de higiene - Apropriadas:** Atenção especial deve ser tomada quanto à comida e bebida, mantendo-as distantes de qualquer contaminação, todo o pessoal deve higienizar completamente as mãos antes das refeições.



Figura 8 - Equipamentos de segurança para manuseio de produtos e resíduos de cromo

Fonte: Fonte: Elaboração da própria autora, 2023.

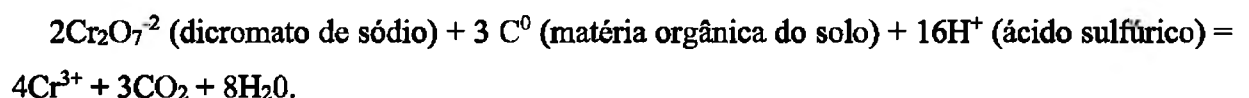
O laboratório de estudo cumpre as normas regulamentadoras (NR) em todos os seus processos laboratoriais (Figura 8), com destaque a NR 06 (Portaria SIT n.º 25, 2001), que trata sobre equipamentos de proteção individual¹ (MTE, 2015).

Essas NR's orientam as ações dos empregadores para tornar os ambientes de trabalho mais seguro e saudável, promovendo e preservando a integridade física do trabalhador, que dispõe sobre os EPI's (Figura 8).

Na análise de matéria orgânica do solo, usando o método de Walkley-Black (oxidação do carbono orgânico por dicromato, na presença de ácido sulfúrico concentrado), o Cr (VI) é primeiramente reduzido a Cr (III), o qual é classificado como resíduo perigoso, de acordo com Resolução Conama 357/2005.

A reação de redução da oxidação é a seguinte (Equação 1), reduzindo o Cr (VI) para Cr (III), conforme (RAIJ et al., 2001):

Equação 1: Redução da oxidação do cromo na análise de MOS.



¹ Para os fins de aplicação desta Norma Regulamentadora – NR 06, considera-se Equipamento de Proteção Individual - EPI, todo dispositivo ou produto, de uso individual utilizado pelo trabalhador, destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho (MTE, 2015).

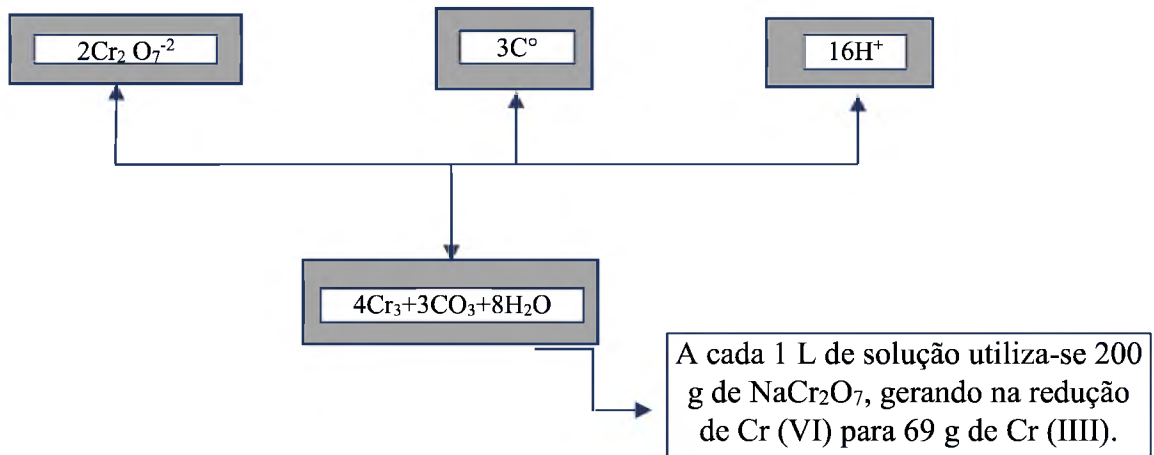


Figura 9 - Diagrama da redução química da solução sulfocrômica

Fonte: Diagrama elaborado com base em Raji et al., (2001)

No preparo da amostra de MOS a ser analisada, seguem-se os seguintes passos:

- Dissolver 200 g de $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (dicromato de sódio) em cerca de 600 ml de água destilada
- Adicionar lentamente e com resfriamento, 280ml de ácido sulfúrico concentrado. Após resfriar, completar o volume a 1L com água destilada e homogeneizar.

Os materiais usados para o preparo de uma amostra são os seguintes:

- 0,5 cm^3 de solo
- 5,0 ml de solução sulfocrômica
- 25,0 ml de água destilada
- Mesa agitadora
- Bandejas e copos de plástico.

O procedimento de preparo das amostras é o seguinte:

- Cachimbar 0,5 g de solo nos copos amostrais;
- Adicionar 5,0 ml de solução sulfocrômica
- Agitar 10 minutos para misturar;
- Deixar descansar por 1 hora;
- Adicionar 25,0 ml de água destilada, agitar com bastão de vidro, deixar decantar durante a noite;
- Proceder com a leitura no dia seguinte.

Para a leitura usa-se o espectrofotômetro (Figura 10)



Figura 10 - Espectrofotômetro

Fonte: Elaboração da própria autora, 2023.

No dia seguinte, para realizar a leitura no espectrofotômetro faz-se os seguintes procedimentos:

- Transferir o líquido sobrenadante para a cela de medida do espectrofotômetro, com filtro de transmissão máxima de 650 nm.
- Calcular os resultados a partir da curva padrão de calibração.²

Durante o período de 30 dias, conforme o procedimento metodológico realizado neste trabalho, foram quantificadas o número de amostras realizadas e a geração do resíduo químico contendo o cromo, bem como as quantidades dos materiais usados, para a verificação do tempo estipulado para encher um bombona de 120 L com os resíduos a serem destinados ao descarte pela empresa especializada contratada pelo laboratório; portanto, também foi verificado o período coleta da bombona de 120L.

Na tabela 3, podemos observar as quantidades máximas de reagentes usados no mês para a análise de matéria orgânica.

² O método utilizado pelo laboratório de estudo, é o colorimétrico, tendo que a calibração é feita por um conjunto de amostras selecionadas, com ampla variação no teor de MOS, normalmente de 0 a 200 g dm^{-3} , onde se gera um gráfico com valores de transmitância ou absorvância contra os teores de MOS, que é usado para a curva-padrão. (RAIJ et al., 2001).

Tabela 3. Quantidade de resíduo químico contendo cromo gerado pelo laboratório de estudo no período de 30 dias.

AMOSTRAS DE SOLO	SOLUÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA (5 ml/amostra)			Água Destilada (2)	TOTAL
	Dicromato de sódio	Ácido Sulfúrico	Água Destilada (1)		
1 amostra (0,5 g de solo)	1g	1,4 ml	2,6 ml	25 ml	
10 amostras (5 g de solo)	10g	14 ml	26 ml	250 ml	
1920 amostras (960 g de solo)	1,92 kg	2,68 L	4,8 L	48 L	58,36 L

Observações: (1) Água usada na solução. (2) Água utilizada para homogeneizar a solução.

Elaboração da própria autora, 2023.

Durante o período de 30 dias de acompanhamento foram realizadas análises de 1.920 (mil novecentos e vinte) amostras de solo para determinação do teor de MOS (Tabela 3). Então, para ilustrar os resultados foi elaborado um diagrama simples de fluxo (Figura 11).

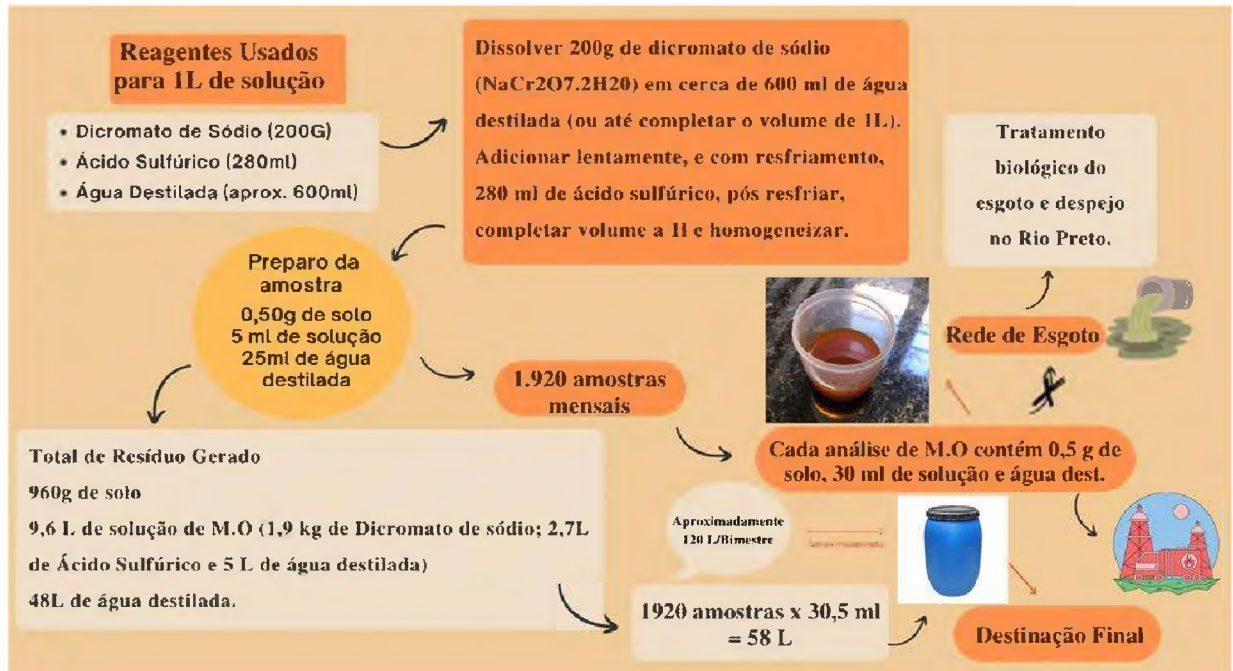


Figura 11 - Diagrama de fluxo da quantidade de resíduos gerados pelas análises de MOS

Fonte: Elaboração da própria autora, 2023

Foi calculada a quantidade de resíduos tóxicos gerados pelo laboratório no total de 58,36 L por mês, que foram armazenados na bombona plástica, contendo: dicromato de sódio (1,92 kg), ácido sulfúrico (2,68 L) e 52,8 litros de água, além de 960 g de solo (Tabela 3).³

Oportunamente, deve-se destacar que existem diferentes métodos de determinação do teor de orgânica do solo (MOS), sendo o mais usual o método apresentado (Walkley-Black), que utiliza o Cr (VI), elemento extremamente tóxico; portanto, torna-se imprescindível a total redução do Cr (VI) para Cr (III), pois deve-se imobilizar o excesso de Cr (VI) utilizado na análise que não reage com a MOS.

Por sua praticidade, os métodos baseados na oxidação química utilizando o dicromato de sódio ($2\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) são amplamente empregados nos laboratórios de rotina, para reduzir o excesso de Cr (IV) utilizado nas análises para Cr (III). Segundo Colares et al. (2010), existem vários métodos disponíveis para o tratamento de efluentes; mas, aproximadamente 75% das indústrias utilizam o processo de precipitação química, por ser um método relativamente simples e econômico.

Nos laboratórios de solo, o método mais comum para o tratamento deste tipo de resíduo é a utilização de metabissulfito de sódio (exemplo: ácido sulfúrico usado no laboratório de estudo) para que ocorra a redução do excesso de Cr (VI) a Cr (III) na análise de MOS.

Sendo assim, o laboratório de estudo faz a redução de cromo (VI) para cromo (III), por meio do ácido sulfúrico, conferindo maior a segurança no transporte e descarte do resíduo perigoso; embora, o Cr (III) formado seja menos tóxico que o Cr (VI), este método ainda apresenta inconvenientes, como a geração de resíduos tóxicos contendo Cr (III).

Segundo a Resolução Conama nº357/2005, alterada pela Resolução 430/2011, a concentração limite para o Cr (III) é de 1 mg L^{-1} de Cr (III); mas, não se deve desconsiderar a possibilidade de reoxidação do metal. Deve-se, portanto, verificar o teor de cromo no resíduo para informar à empresa responsável pelo destino final.

O laboratório de estudo gera um total de 58,36 L de resíduo líquido mensal, o que contém aproximadamente 674,0 g de Cr (III) total (Tabela 3 e Figura 11).

Considerada a avaliação da quantidade de resíduo perigoso produzido, foi realizada a atualização do cadastro do laboratório sobre empresas prestadoras de serviços de tratamento e destinação adequado de resíduos químicos, quando foram identificadas e contatadas seis empresas (Tabela 4). Conforme os procedimentos metodológicos, essas empresas foram

³ A maioria dos equipamentos de medida de volume são feitos de vidro, o qual tem um pequeno coeficiente de expansão, dessa forma, medidas confiáveis de volume são realizadas com uma pipeta, uma bureta ou um balão volumétrico, ainda assim, podendo haver diferença nas medidas, reduzindo a precisão e a exatidão do volume (DA SILVA et al., 2016).

identificadas por meio de inquirição em visitas técnicas à laboratórios de solo, clínicas médicas e hospitais, bem como, consultórios odontológicos que informaram as empresas que usavam para destinar seus resíduos químicos gerados, no âmbito do Estado de Goiás e no Distrito Federal.

Tabela 4 Empresas de serviços de coleta de resíduos perigosos

	EMPRESA	OBSERVAÇÕES
1	Belford	Faz o serviço apenas dentro do DF.
2	Centro Oeste Ambiental	Não faz a destinação do material.
3	Incinera	Faz o serviço.
4	Indcom	Não faz o serviço
5	Risco Zero	Faz o serviço.
6	Saniplan	Contato não realizado

Fonte: Elaboração da própria autora, 2023.

Nas visitas técnicas às instituições que geram resíduos perigosos em suas atividades, não houve sempre fácil acesso às informações sobre o nome e o contato das empresas contratadas para a prestação de serviços; ou seja, diziam que tinham uma empresa contratada e especializada na destinação final, mas resistiam informa o nome e contato.

Dentre as empresas cadastradas, destacaram-se as seguintes prestadoras de serviços ambientais:

Risco zero:

- Contrato de 12 meses fixos;
- Coleta semanal de até 10 kg ou litros Resíduos químicos e biológicos: R\$ 400,00 mensal.
- Coleta quinzenal de até 40 kg/L: R\$ 300,00 mensal
- Coleta mensal de até 20 kg/L: R\$ 200,00 mensal.

Incinera Ambiental:

- Contrato de 12 meses fixos;
- Coleta mensal de até 30 kg/l: R\$ 170,00.
- Coleta mensal de até 40 kg/l: R\$ 200,00
- Coleta bimestral de até 120kg/l: R\$ 400,00
- Resíduos excedentes: R\$ 4,00 por kg/L excedente.

Essas duas empresas que atuam na coleta de resíduos perigosos na cidade de Formosa-GO, apresentaram valores dos serviços aproximados; mas, a Incinera ambiental ofereceu a melhor proposta, em razão do custo e período de tempo de coleta, considerando que o laboratório de análise da MOS gera aproximadamente 120 L no bimestre.

Deve-se reiterar que é de extrema importância os laboratórios de solo, geradores de resíduos perigosos resultantes da análise de MOS, façam o tratamento químico, assegurando a redução do excedente de Cr (VI) para Cr (III), porque isto proporciona um descarte mais seguro pela empresa responsável.

A destinação final do resíduo envolve o processo de incineração, no qual faz-se a decomposição térmica, por meio da oxidação a altas temperaturas (maiores que 90°C), usada para destruir a fração orgânica do rejeito e diminuir seu volume. A Resolução Conama 386/2006 dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos, incluindo a incineração.

O laboratório de estudo atua com segurança no trabalho e correta destinação dos resíduos tóxicos gerados por suas atividades; todavia, para promover a sustentabilidade, pode-se sugerir um plano de gerenciamento de resíduos sólidos, constituído por um conjunto de ações, desde a reciclagem até o tratamento do químico.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A conscientização por parte das indústrias químicas, instituições acadêmicas e órgãos fiscalizadores governamentais vem aumentando, por diversas razões, acerca da necessidade de tratamento eficaz e adequada disposição final de resíduo químico perigosos evitando o aumento de substâncias químicas no meio ambiente, o que acarreta no número menor de casos de contaminação humana e ambiental.

As leis e demais normas de monitoramento e controle são essenciais para o efetivo tratamento e destinação final de resíduos perigosos; embora, a maior parte das empresas visa apenas o resultado financeiro, cumprindo a legislação para não levar multa, que pode ser até mais onerosa que o conjunto de ações mitigadoras necessárias para a certificação ambiental, existe certa conscientização.

No Brasil, dentre as leis e normas aplicáveis aos resíduos sólidos destacam-se: a Política Nacional de Resíduos Sólidos e as Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente; ademais, devem ser destacadas a importância dos órgãos ambientais para implementação das políticas, como o Ibama e os órgãos estaduais e municipais de fiscalização ambiental e vigilância sanitária.

O laboratório de estudo segue as normas regulamentadoras de segurança no trabalho, os trabalhadores são treinados, utilizam instrumentos adequados e equipamentos de proteção individual no manuseio da solução sulfocrômica, usada para determinar o teor de matéria orgânica do solo. Contudo, o presente trabalho também colaborou para melhorar conscientização dos trabalhadores sobre as consequências advindas da contaminação por resíduos perigosos, houve uma maior preocupação por parte dos mesmos.

Verificou-se que todo o resíduo líquido perigoso gerado na análise da matéria orgânica do solo é adequadamente armazenado em bombonas até que seja feita a coleta e destinação final. A disposição final de resíduos perigosos é realizada por empresa especializada autorizada por órgão ambiental, conforme a legislação em vigor.

O laboratório estudado realiza o tratamento químico do resíduo, fazendo a redução do cromo hexavalente, altamente perigoso em pequenas concentrações, para cromo trivalente, somente perigoso em altas concentrações, o que aprimora a segurança do transporte para a destinação final.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIQUIM. Associação Brasileira da Indústria Química. Ficha de Informações de produto químico, Dicromato de sódio (Nº ONU 1479), 2014.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12235. Armazenamento de resíduos sólidos perigosos, 1992.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13221. Transporte terrestre de resíduos, 2003.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004. Resíduos sólidos, 2004.

ALEJANDRO, C. A.; ARACELI, T. C.; GEORGINA, R. L. Cromo: lo bueno y lo malo, los inicios de una historia. Revista Enlace Químico, Universidad de Guanajuat, 2010.

ATSDR- Agency for Toxic Substance and Disease Registry. Toxicological Profile for Chromium. USA, 2018.

BATISTA, C. Tabela Periódica. Toda Matéria, 2023.

BERTOLO, R. A; MARCOLAN, L. N. O; BOUROTTE, C. L. M. Relações água-rocha e a hidrogeoquímica do cromo na água subterrânea de poços de monitoramento multiníveis de Urânia, SP, Brasil. Revista do Instituto de Geociências – USP. Geol. USP, São Paulo, v. 9, 2009.

BIANCHIN, L. Atributos químicos e especiação de cromo em solo com aplicação de resíduos de curtume e carbonífero em experimento de campo. Tese de Doutorado em Ciências do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

BIELICKA, A.; BOJANOWSKA, I.; WISNIEWSKI, A. Two faces of chromium - pollutant and bioelement. Department of Environmental Engineering Faculty of Chemistry, University of Gdańsk, 18 J. Sobieskiego St., 80 - 852 Gdańsk, Poland 2004.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.

BRASIL. Lei nº6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 357, de 17 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. Diário Oficial da União, Brasília-DF, 2005.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 386, de 28 de março de 2006. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. Diário Oficial da União, Brasília-DF, 2006.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Resolução Conama 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. Diário Oficial da União, Brasília-DF, 2011.

CARNEIRO, D. A. DE. Gerenciamento de resíduos químicos em instituições de ensino. Revista Tecer, Belo Horizonte, v.2, 2009.

CASTILHOS, D. D.; VIDOR, C.; TEDESCO, M. J. Redução química e biológica do cromo hexavalente aplicado ao solo. Revista Brasileira de Ciências do Solo, 2001.

COLARES, C. J. G.; SANTANA JÚNIOR, E. J. de; COLARES, E. C. G.; COSTA, O. S. da. Estudo de caso do tratamento de efluentes líquidos gerados no processo de galvanoplastia. Anais do VIII Seminário de Iniciação Científica e V Jornada de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Estadual de Goiás, 2010.

COLASSO, C. Toxicidade do cromo: o que você precisa saber? Chemicalrisk, 2020.

DA SILVA, A.; BRABO, G. R.; PAIM, C. S. Estudo multidisciplinar aplicado a aula prática de química geral experimental. Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 8, 2016.

DETTMER, A. Recuperação do cromo das cinzas do tratamento térmico de resíduos da indústria calçadista visando o curtimento de peles. Dissertação (Mestrado em Eng. Química – PPGEQ) – Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2008.

FARIAS, R. F. de; SILVA, C. M. da; SIQUEIRA, A. P. V. de; SOUZA, R. de C. P. de. Uma metodologia para o descarte de resíduos oxidantes gerados em laboratórios de análise de solos. Principia, João Pessoa, Dezembro 2006.

FAVERO, J. L.; MUNIZ, A. R.; SANTOS, R. P. B. dos. Análise teórico-experimental da dispersão de poluentes líquidos em solos. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 12, 2007.

- GOMES JÚNIOR, S. F.; GOMES, A. R. As vantagens da sustentabilidade empresarial. *Ingepro-Inovação, Gestão e Produção*, v. 2, 2010.
- KAWA, L. Meio ambiente: cromo-Cr. Blogspot, 2013.
- KOTÁS, J.; STASICKS, Z. Chromium occurrence in the environment and methods of its speciation. *Environmental pollution*, v.107, 2000.
- MAGRO, C. D.; DEON, M. C.; THOMÉ, A.; PICCIN, J. S.; COLLA, L. M. Biossorção passiva de cromo (IV) através da microalga *Spirulina platensis*. *Quim. Nova*, Vol. 36, 2013.
- MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conferência das Nações Unidas Sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, Agenda 21 (global), 1992.
- MOTA, D. L. F.; SILVA FILHO, C. J. da; SEOLATTO, A. A. Estudo do processo de adsorção de chumbo, cádmio e cromo em casca de pequi por meio de isotermas. In: 63ª Reunião Anual da SBPC, 2011, Goiânia. Anais/Resumos da 62ª Reunião Anual da SBPC, 2011.
- MTE. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. NR 06 – Equipamento de Proteção Individual – EPI. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2015.
- PAULA, V. R. de. Manual de gerenciamento de resíduos químicos. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2018.
- RAIJ, B. V.; DE ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H; QUAGGIO, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Instituto Agronômico Campinas – SP, 2001.
- SARI, R.; SOTILES, A. R.; LOSS, E. M. S.; VALERA, E. R. V.; ROCHA, R. D. C. DA. Tratamento de resíduos de cromo (VI) gerados no laboratório de química. *Synergismus scyentifica: UTFPR*, 2015.
- SHADRECK, M; MUGADZA, T. Chromium, an essential nutrient and pollutant: A review. Department of Chemical Technology, Midlands State University. Gweru, Zimbabwe. v. 7(9), 2013.
- SILVA, C. S; PEDROSO, M.F. Ecotoxicologia do cromo e seus compostos. *Cadernos de Referência Ambiental*. v. 5. Salvador, 2001.
- SILVA, K. M. D; REZENDE, L. C. S. H; SILVA, C. A; BERGAMASCO, R; GONÇALVES, D.S. Caracterização físico-química da fibra de coco verde para a adsorção de metais pesados em efluente de indústria de tintas. *Engevista*. V.15, 2013.
- TONIN, T. M. L.; DOS SANTOS, M. V. Tratamento de resíduos de cromo gerados nas aulas de química analítica. *RELACult-Revista Latino-Americana de Estudos em Cultura e Sociedade*, v. 6, 2020.

VEIT, M. T.; SILVA, E. A. da; FAGUNDES-KLEN, M. R.; TAVARES, C. R. G.; GONÇALVES, G. C. Biossorção de cromo (III) em coluna de leito fixo. Estudos Tecnológicos. v. 4, 2008.

ROBSON, G. Electron shell diagram for Chromium, the 24th element in the periodic table of elements. Wikipedia, 2006.