



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE
QUÍMICA – LICENCIATURA**

MANOELA VITÓRIA SILVA COSTA

**DA LAMA AO CAOS: CONTRIBUIÇÕES DE UM *RPG* ORIENTADO EM UMA
ABORDAGEM CTSA PARA FORMAÇÃO CIDADÃ**

Caruaru-PE

2025

MANOELA VITÓRIA SILVA COSTA

**DA LAMA AO CAOS: CONTRIBUIÇÕES DE UM *RPG* ORIENTADO EM UMA
ABORDAGEM CTSA PARA FORMAÇÃO CIDADÃ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Química
Licenciatura da Universidade Federal de
Pernambuco – UFPE – Centro Acadêmico do
Agreste, como requisito parcial para a obtenção
do grau de licenciado em Química.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Lima Guimarães.

Caruaru

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Costa, Manoela Vitória Silva.

DA LAMA AO CAOS: Contribuições de um RPG orientado em uma abordagem CTSA para formação cidadã. / Manoela Vitória Silva Costa. - Caruaru, 2025.

70 p. : il.

Orientador(a): Ricardo Lima Guimarães

Coorientador(a):

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Química - Licenciatura, 2025.

Inclui referências, apêndices.

1. jogos didáticos. 2. RPG. 3. CTSA. 4. ensino de química. I. Guimarães, Ricardo Lima. (Orientação). II. , . (Coorientação). IV. Título.

370 CDD (22.ed.)

MANOELA VITÓRIA SILVA COSTA

**DA LAMA AO CAOS: CONTRIBUIÇÕES DE UM *RPG* ORIENTADO EM UMA
ABORDAGEM CTSA PARA FORMAÇÃO CIDADÃ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Química
Licenciatura da Universidade Federal de
Pernambuco – UFPE – Centro Acadêmico do
Agreste, como requisito parcial para a obtenção
do grau de licenciado em Química.

Aprovada em: 16/04/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ricardo Lima Guimarães (Orientador)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. José Ayron Lira dos Anjos (Examinador 1)

Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Ana Paula de Souza de Freitas (Examinador 2)

Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço, antes de tudo, aos meus pais, Vera Lúcia e Manoel Bezerra, por serem meu alicerce ao longo de toda a trajetória acadêmica. Seu amor, apoio incondicional e exemplo de persistência foram fundamentais para que eu seguisse em frente, mesmo nos momentos mais difíceis. Ao meu irmão Manoel, minha gratidão por me lembrar, com leveza e bom humor, que a vida vai além dos prazos e das cobranças, ajudando-me a manter o equilíbrio emocional. Ao meu amor, Arthur, obrigada por todo o carinho, paciência e apoio inabalável nessa reta final. Sua presença foi meu refúgio e impulso para continuar.

Sou profundamente grata aos amigos que a vida me deu. Em especial, Daniely e Lucas, que sempre estiveram presentes com apoio e afeto. Durante a graduação, tive a sorte de encontrar verdadeiras companheiras de jornada: Clécia, Geowana e Layza, obrigada por cada gesto de incentivo e por seguirem comigo mesmo nos momentos de tempestade. Agradeço também a João Paulo, pelas conversas e apoio constante, e a Daniel, parceiro de projetos e estágios, cuja dedicação tornou tudo mais leve e possível.

Ao professor Ricardo Lima Guimarães, meu orientador, agradeço a escuta atenta, incentivo e por me apresentar ao universo dos jogos como ferramenta de ensino. Sua orientação ampliou minha visão sobre o que é possível construir com criatividade e compromisso pedagógico.

Aos professores que marcaram minha formação, meu respeito e admiração. Agradeço especialmente à professora Ana Paula de Souza de Freitas, por sua exigência generosa e por ser uma inspiração constante para minha prática docente. Um agradecimento especial à professora Flávia Vasconcelos, que transformou minha visão sobre o papel da educação. Suas aulas me mostraram que ensinar é um ato político e de construção cidadã, capaz de formar sujeitos críticos e conscientes, comprometidos com um mundo mais justo.

Por fim, agradeço a todos que me acolheram e caminharam comigo nessa jornada: à minha família, aos meus amigos - e também ao mar, que me trouxe paz nos momentos em que precisei reencontrar meu centro.

RESUMO

O modelo tradicional de ensino mostra-se ineficaz para promover o engajamento ativo dos estudantes, limitando-os a receptores passivos de informações transmitidas de forma unidirecional. Essa abordagem compromete tanto a compreensão profunda quanto a aplicação prática do conhecimento em situações reais. Em contraste, os jogos educativos surgem como alternativas promissoras no ensino de Química, favorecendo a motivação, a assimilação de conceitos abstratos e o desenvolvimento de habilidades cognitivas além da simples memorização. A integração entre a abordagem CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio Ambiente) e o *Role Playing Games (RPG)* potencializa esse processo ao simular contextos reais nos quais o conhecimento científico-tecnológico é explorado em suas dimensões sociais e ambientais. Sendo assim, o objetivo desta pesquisa foi analisar as potencialidades de um jogo de *RPG* envolvendo a abordagem CTSA para uma formação cidadã no Ensino Superior. O *RPG* intitulado *Da Lama ao Caos* se baseou em pesquisa documental sobre garimpo ilegal em terras indígenas brasileiras. A partir disso, foi desenvolvido um cenário que reflete os desafios enfrentados na Amazônia. O jogo estrutura-se em nove fases progressivas, permitindo o aumento gradual da complexidade dos desafios científicos apresentados aos estudantes. Sendo assim, os alunos assumem o papel de investigadores e aplicam técnicas analíticas como Cromatografia e Espectrometria de Massa, em uma narrativa que estimula a aprendizagem ativa, o pensamento crítico e a reflexão ética sobre o uso da ciência, questionando sua suposta neutralidade ao evidenciar seus vínculos com dimensões sociais, políticas e ecológicas. O jogo foi avaliado segundo os critérios de Simões Neto e colaboradores e equilibra elementos lúdicos e pedagógicos, consolidando-se como uma estratégia flexível e eficaz para a formação de sujeitos críticos, conscientes e engajados com a justiça ambiental. Portanto, o jogo pode contribuir para a formação cidadã ao incentivar o posicionamento crítico diante de questões socioambientais contemporâneas, fortalecendo o compromisso com valores como justiça, responsabilidade social e sustentabilidade.

Palavras-chave: jogos didáticos; RPG; CTSA; ensino de química.

ABSTRACT

The traditional teaching model proves ineffective in promoting students' active engagement, limiting them to passive recipients of information transmitted unidirectionally. This approach compromises both deep understanding and practical application of knowledge in real situations. In contrast, educational games emerge as promising alternatives in Chemistry teaching, favoring motivation, assimilation of abstract concepts, and development of cognitive skills beyond simple memorization. The integration between the STSE (Science, Technology, Society, and Environment) approach and Role-Playing Games (RPG) enhances this process by simulating real contexts in which scientific-technological knowledge is explored in its social and environmental dimensions. Thus, the objective of this research was to analyze the potential of an RPG game involving the STSE approach for citizenship education in Higher Education. The RPG titled "From Mud to Chaos" was based on documentary research on illegal mining in Brazilian indigenous lands. From this, a scenario was developed that reflects the challenges faced in the Amazon. The game is structured in nine progressive phases, allowing the gradual increase in complexity of scientific challenges presented to students. Therefore, students assume the role of investigators and apply analytical techniques such as Chromatography and Mass Spectrometry, in a narrative that stimulates active learning, critical thinking, and ethical reflection on the use of science, questioning its supposed neutrality by highlighting its links with social, political, and ecological dimensions. The game was evaluated according to the criteria of Simões Neto and collaborators and balances playful and pedagogical elements, consolidating itself as a flexible and effective strategy for the formation of critical subjects, conscious and engaged with environmental justice. Therefore, the game can contribute to citizenship education by encouraging a critical stance on contemporary socio-environmental issues, strengthening commitment to values such as justice, social responsibility, and sustainability.

Keywords: educational games; RPG; STSE; chemistry teaching.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	11
2.1	OBJETIVO GERAL	11
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3	REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1	CARACTERIZANDO JOGO	12
3.1.1	Uso do Jogo em Sala de Aula	14
3.2	JOGOS E ENSINO DE QUÍMICA	17
3.3	<i>ROLE PLAYING GAME</i> E A SALA DE AULA	18
3.4	A ABORDAGEM CTSA E A FORMAÇÃO CIDADÃ	20
4	METODOLOGIA	24
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1	TEMÁTICA ESCOLHIDA	25
5.2	TÍTULO DO RPG	27
5.3	A HISTÓRIA DO JOGO “DA LAMA AO CAOS”	27
5.4	AS REGRAS E MECÂNICAS	29
5.5	AS FASES DO JOGO	31
5.5.1	Fase 1	32
5.5.2	Fase 2	35
5.5.3	Fase 3	37
5.5.4	Fase 4	38
5.5.5	Fase 5	39
5.5.6	Fase 6	41
5.5.7	Fase 7	43
5.5.8	Fase 8	46
5.5.9	Fase 9	48
5.6	VALIDAÇÃO DO JOGO	50
5.6.1	Interação entre os jogadores	50
5.6.2	Dimensão da aprendizagem	51
5.6.3	Jogabilidade	51
5.6.4	Aplicação	52
5.6.5	Desafio	52

5.6.6	Limitação de Espaço e Tempo	52
5.6.7	Criatividade	53
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
	REFERÊNCIAS	56
	APÊNDICE A – TÉCNICAS	60

1 INTRODUÇÃO

O enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) têm a preocupação com a formação de cidadãos críticos e conscientes, capazes de tomar decisões informadas sobre desafios contemporâneos que envolvem ciência e tecnologia (Bettencourt, 2000 *apud* Farias; Freitas, 2007; Santos *et al.*, 2019), esses princípios coadunam a perspectiva de uma Educação Ambiental Crítica. A partir dessa perspectiva, Santos (2011 *apud* Barros; Cavalcanti, 2013) ressalta que a incorporação da dimensão ambiental ao enfoque CTS originou o conceito de Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA), fundamentado em uma visão crítica das questões socioambientais dentro de seu contexto histórico e social.

A importância dessa abordagem interdisciplinar e transdisciplinar, conforme defendido por Linsingen (2007), está justamente em superar a fragmentação do conhecimento, conectando as diversas áreas de estudo e ampliando o horizonte de compreensão dos estudantes. Dessa forma, ao unir a abordagem CTSA com jogos, a educação pode se tornar mais interativa e envolvente, promovendo o pensamento crítico e a resolução de problemas em um contexto que vai além do aprendizado teórico.

Tal como, um *RPG (Role Playing Game)*, ou em português Jogo de interpretação) com abordagem CTSA pode promover o desenvolvimento de sujeitos críticos e participativos, capazes de intervir de maneira consciente nas problemáticas socioambientais e de tomar decisões que levem em consideração as dimensões científica, tecnológica, social e ambiental.

Essa dinâmica possibilita uma formação cidadã, pois os alunos não apenas podem aprender sobre o meio ambiente e as relações CTS, mas também são incentivados a refletir sobre as consequências de suas ações, promovendo uma maior participação democrática e um comprometimento ético com a sustentabilidade (Santos *et al.*, 2019).

Considerando os impactos sociais e ambientais causados pelo avanço científico e tecnológico, e baseado nas minhas vivências acadêmicas, originou-se a seguinte questão de pesquisa: Quais as potencialidades de um jogo pedagógico, em especial um *RPG (Role Playing Game)*, numa perspectiva CTSA (Ciência Tecnologia Sociedade e Meio Ambiente) para uma formação cidadã, de alunos da educação superior?

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo analisar as potencialidades de um jogo de *RPG* que envolve a abordagem CTSA contribui para a formação cidadã dos alunos do ensino superior.

Durante a graduação pude experimentar jogos como uma ferramenta de avaliação da aprendizagem de conceitos químicos, sobretudo na disciplina de Química Orgânica II, na qual

o professor realizava jogos periodicamente com o intuito de revisar os conceitos previamente abordados. Isso tornou o processo de aprendizagem mais prazeroso, para uma disciplina que por muitas vezes é considerada difícil, sobretudo em relação aos mecanismos presentes nas reações orgânicas.

Além disso, também tive vivências com a abordagem CTSA durante a graduação. No decorrer da disciplina de Metodologia do Ensino de Química I, a abordagem foi apresentada e discutida, bem como houve a realização de aulas simuladas na disciplina e nas disciplinas seguintes (Metodologia do Ensino de Química II e III) que envolviam temas sobre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio Ambiente. Isso também possibilitou uma nova visão sobre a relação entre a formação cidadã e o ensino de química, que não envolve apenas a transmissão de conteúdo, mas também o desenvolvimento de um senso crítico para participação ativa e consciente na sociedade.

Portanto, a imersão em um universo fictício de um jogo de *RPG*, que faz uso da abordagem CTSA, tem o potencial de contribuir significativamente para o processo de ensino e aprendizagem por ser capaz de motivar os alunos a aprenderem, a analisar criticamente as situações propostas. Avaliando, a partir de diferentes pontos de vista, a resolução dos problemas, além de promover uma construção de conhecimento em equipe.

Por proporcionar a resolução em grupo de uma sequência de desafios que envolvam conceitos químicos a aspectos da ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente, o *RPG* possibilita a construção e reconstrução de conceitos previamente estabelecidos, proporcionando que os alunos realizem suas próprias descobertas individuais ou em grupo. Além de estimular uma aprendizagem de conceitos interdisciplinares de forma mais consistente.

Baseado nessas vivências e na importância do jogo como atividade escolar, o presente trabalho pretende avaliar as contribuições de um *RPG* envolvendo a abordagem CTSA para a formação cidadã, que visa a tomada de decisões para enfrentar os desafios globais do século XXI, dos alunos da educação superior.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar as potencialidades de um jogo de *RPG (Role Playing Game)* envolvendo a abordagem CTSA para uma formação cidadã no Ensino Superior.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar um jogo pedagógico de *RPG* com abordagem CTSA;
- Identificar as potenciais contribuições do jogo para a formação cidadã no Ensino Superior de Química.
- Promover uma validação teórica do jogo segundo parâmetros lúdicos e educativos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste referencial teórico, foram explorados o histórico e a evolução do uso dos jogos como ferramentas educacionais, destacando sua relevância na formação de cidadãos críticos e participativos. Foram abordados conceitos fundamentais que sustentam a utilização de jogos em contextos educativos, com ênfase nas contribuições de diversos autores sobre a natureza do jogo e seu impacto no processo de ensino-aprendizagem. Além disso, discutiu-se a importância da abordagem Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA) no ensino de química, enfatizando como o *Role Playing Game (RPG)* pode ser utilizado para abordar questões sociais e ambientais, promovendo uma educação integrada e contextualizada. Ao final, foi discutido como essas práticas educativas podem contribuir para a formação cidadã, permitindo que os alunos desenvolvam habilidades críticas e reflexivas diante dos desafios contemporâneos.

3.1 CARACTERIZANDO JOGO

Os jogos sempre estiveram presentes na história da humanidade, seja como elementos de diversão, de disputa ou como forma de aprendizagem. Desde a antiguidade, Platão e Aristóteles afirmavam a necessidade de se aprender brincando, os romanos também faziam uso de jogos para formar cidadãos e soldados. Os egípcios e os maias faziam uso de jogos como uma forma dos mais jovens aprenderem sobre valores e comportamentos sociais com os mais velhos (Cunha, 2012).

Porém, durante a Idade Média, a prática foi associada com o pecado devido à grande influência da igreja e os jogos passaram a ser malvistas e só retornam como elemento de aprendizagem ou de diversão durante o Renascimento, no século XVI, com os humanistas e posteriormente adotado como prática educacional nos colégios jesuítas (Cunha, 2012; Cavalcanti *et al.*, 2012). Nesse contexto, tais práticas foram reconhecidas como instrumentos valiosos de ensino, o que culminou para o desenvolvimento de novas abordagens didáticas (Cunha, 2012; Cavalcanti *et al.*, 2012).

À vista disso, os jogos têm sido uma parte da história e está presente em diversas culturas, proporcionando entretenimento, diversão, aprendizagem e socialização entre os indivíduos. Sua presença constante e relevância na sociedade despertou em alguns teóricos o interesse em tentar conceituar o significado da ação de jogar, dentre eles Brougère (2002) diz que

O que caracteriza um jogo não é uma vocação particular para a educação, mas uma riqueza potencial de conteúdos culturais e de processos de construção, de transformações desses mesmos conteúdos. Como todo lazer, ele pode aparecer como uma situação complexa do ponto de vista cultural porque instaura um espaço fictício ou mimético rico de significações culturais. Aceder ao prazer prometido pelos lazes supõe a manipulação simbólica desses conteúdos, que pode ser acompanhada de aprendizagens informais ou implicar aprendizagens anteriores para dominar esses conteúdos (Brougère, 2002, p.16).

Sendo assim, o autor apresenta que os jogos não estão restritos apenas à prática educacional, por possuir diversos elementos culturais que enriquecem a experiência, como a narrativa, objetos, interações, símbolos. O jogo pode levar a aprendizagens informais (ou formais), bem como ao desenvolvimento de habilidades.

Ademais, Huizinga (2001) define jogo como uma atividade que está além da competitividade, é uma atividade voluntária que visa o prazer, o divertimento, e que tem como características principais a liberdade e o figurativo. O figurativo se refere ao imaginário. A atmosfera criada pelo ambiente do jogo, existindo a realidade do jogo (interna) e a realidade externa, na realidade interna. O jogador assim se desprende da vida cotidiana, dando outro sentido às coisas habituais. Brougère (2002) chama essa realidade do jogo, o “faz de conta”, tão citado pelas crianças, de “segundo grau”.

Por conseguinte, a “realidade do jogo” ocorre em um espaço (real ou imaginário) no qual o jogo é realizado e em um tempo, ou seja, uma duração e são eles que distinguem o jogo da vida real. Por mais que o jogo não seja considerado uma prática séria, o imaginário pode envolver o jogador de forma que a ação se torne profundamente séria (Soares, 2016).

Outrossim, Huizinga (2001) e Brougère (2002) destacam que o que torna o jogo atrativo é a incerteza. É ela que traz momentos de tensão dentro do jogo e faz com que os jogadores tenham vontade de levar o jogo até o ápice. Para atingir esse ápice, as regras do jogo devem ser cumpridas, consoante aos autores, são as regras que determinam o que vale dentro do mundo temporário, elas são absolutas e incontestáveis. A quebra dessas regras é a destruição do mundo do jogo, de forma que os participantes lidam melhor com o trapaceiro do que com o estraga prazer pelo fato de ele ameaçar a existência daquele mundo (Huizinga, 2001).

Adicionalmente, Dufflo (1997 *apud* Felício; Soares, 2018) diz que as regras do jogo são o que trazem um duplo prazer, por proporcionar um ambiente de encerramento e concentração, envolve os participantes, possibilitando criação de ações livres e inesperadas.

Este duplo prazer relaciona-se diretamente com o que Dufflo (1997 *apud* Felício; Soares, 2018) denomina de “legaliberdade” (*légalliberté*), conceito que descreve “a invenção de uma liberdade na e pela legalidade”, onde a experiência paradoxal de liberdade surge justamente dentro de um sistema de regras bem definidas, combinando a segurança e estrutura

que os limites oferecem com a liberdade criativa para agir e tomar decisões dentro desses parâmetros estabelecidos.

Esta compreensão sobre o papel das regras e da liberdade nos jogos é fundamental quando analisamos sua aplicação no contexto educacional. Dentro da educação os jogos são comumente utilizados para motivar os alunos e tornar o processo de ensino e aprendizagem mais eficaz. Aparecem geralmente como competições e desafios entre os alunos, também podem ser utilizados tabuleiros, cartas, narrativas e simulações. Deste modo, Cunha (2012) destaca que o que diferencia o jogo na escola de outros jogos educativos é a presença clara e explícita das regras e faz uma diferenciação entre jogo educativo e jogo didático.

O primeiro envolve ações ativas e dinâmicas, permitindo amplas ações na esfera corporal, cognitiva, afetiva e social do estudante, ações essas orientadas pelo professor, podendo ocorrer em diversos locais. O segundo é aquele que está diretamente relacionado ao ensino de conceitos e/ou conteúdos, organizado com regras e atividades programadas e que mantém um equilíbrio entre a função lúdica e a função educativa do jogo, sendo, em geral, realizado na sala de aula ou no laboratório (Cunha, 2012, p.95).

Em vista disso, o uso de jogos na sala de aula não é apenas uma questão de entretenimento, mas uma estratégia pedagógica que pode revolucionar a forma como o conhecimento é mediado. Incorporando jogos que estimulem a atividade reflexiva e discursiva as aulas, os educadores têm a oportunidade de estimular a participação dos alunos, promovendo um ambiente colaborativo e interativo. Conjuntamente, ao integrar regras aos jogos, os professores podem direcionar a atividade ao objetivo de aprendizagem. Assim, o uso consciente de jogos na educação pode criar uma cooperação entre diversão e aprendizagem, tornando a experiência escolar mais rica e significativa para os alunos.

3.1.1 Uso do Jogo em Sala de Aula

Um dos desafios da docência é despertar o interesse do estudante, nessa situação, o jogo é uma forma de inovar o processo educacional incentivando o envolvimento do estudante no seu processo de aprendizagem. Por meio do jogo, os alunos podem ser os protagonistas do processo de aprendizagem. Além disso, o jogo pode ser utilizado para outras funções como revisão e avaliação. Assim, o jogo redefine alguns papéis dos atores no processo de ensino e aprendizagem, ao mesmo tempo que pode ser uma ferramenta que ajuda no processo de construção do conhecimento do aluno, desenvolvendo e enriquecendo a personalidade dele, designa ao professor a função de mediador desse processo (Cunha, 2012).

Nesse contexto, torna-se relevante compreender as diferentes classificações atribuídas aos jogos educativos, uma vez que nem todos compartilham dos mesmos propósitos ou estruturas. Cleophas, Cavalcanti e Soares (2018 *apud* Silva; Soares, 2023) destacam que estes o jogo educativo, por sua vez, é intencionalmente concebido para estimular habilidades cognitivas e promover a aprendizagem. Segundo a Classificação desses autores, o jogo educativo classifica-se em duas dimensões: informal, sem compromisso com o currículo escolar e formal, com intencionalidade pedagógica.

Dessa forma, o jogo educativo formal subdivide-se em didático - adaptado de jogos existentes, inserindo conteúdos escolares para reforçar ou avaliar temas já estudados - e pedagógico - jogo inédito criado especificamente para desenvolver habilidades cognitivas sobre temas específicos, podendo ser utilizado para ensinar conceitos sem discussão prévia pelo professor (Cleophas; Cavalcanti; Soares, 2018 *apud* Silva; Soares, 2023).

Da mesma forma que os jogos não estão restritos apenas a crianças, os jogos também não são restritos somente à educação básica. Dessa forma, podem e devem ser utilizados na educação superior, bastam ter as características necessárias para serem um jogo educativo.

À luz disso, trazer esse recurso de ensino e aprendizagem para a sala de aula, pode não ser tão simples, Felício e Soares (2018) e Soares (2016) apresentam o paradoxo do jogo educativo que é abordado por Kishimoto (2002) e por Brougère (2008). Esse paradoxo está relacionado com o conceito da prática, como algo que conceitualmente é livre e voluntário, pode se adequar a um sistema educacional? Pode ser imposto dentro de uma sala de aula? Para fugir deste paradoxo é necessário que o professor tenha conhecimento profundo sobre o assunto, um bom planejamento para que a proposta do jogo seja construída com os alunos e um objetivo claro do que se deseja alcançar com o jogo (Felício; Soares, 2018).

O paradoxo do jogo educativo pode ser solucionado a partir da ação do professor, que deve equilibrar os conteúdos e a diversão, construindo regras que estejam alinhadas com os objetivos educacionais (Felício; Soares, 2018). Os autores apresentam duas ações que podem atenuar o paradoxo: (1) conscientizar os alunos de que o jogo é de fato educativo (2) liberdade e voluntariedade em sala de aula, ou seja, o aluno deve escolher jogar e não ser forçado a isso, se o aluno joga por obrigação o paradoxo se faz presente e o jogo se torna um material didático sem ludicidade.

Em vista disso, o professor deve criar um ambiente em que os alunos possuam liberdade para brincar dentro de certas regras, que por sua vez ajudam a alcançar os objetivos educacionais, pois são elas que tornam o jogo educativo e por meio da atividade pode-se

desenvolver autonomia e criticidade de acordo com os objetivos educacionais (Felício; Soares, 2018). Consoante aos autores,

[...] o lúdico seria todo processo divertido e prazeroso que pelas suas características de liberdade na e pela legalidade permitisse o desenvolvimento de qualidades e valores nos educandos, propiciando que estes assumam a autoria do seu processo de desenvolvimento, por encontrar no professor um estimulador e encorajador de suas potencialidades (Felício; Soares, 2018, p. 161).

Dessa forma, o jogo é um veículo do lúdico e o papel do professor é ser um mediador, ele deve ser o juiz do jogo, deve estar atento ao cumprimento das regras, as possíveis dúvidas sobre elas e sobre questões relacionadas ao jogo para entendimento dos jogadores.

É comum que os professores façam uso de jogos com mecanismos de jogabilidade já conhecidos como dominó, jogo da memória, jogos de cartas como *YuGiOh*¹ entre outros, facilitando o processo do jogo em sala de aula. Felício e Soares (2018) atentam que as regras dos jogos quando muito extensas ou complexas comprometem o entendimento do jogo por parte dos alunos, utilizar um jogo já conhecido pelos participantes evita esse tipo de problema e contribui para o alcance dos objetivos educacionais.

Porém, ao utilizar jogos como recurso didático o professor pode ser questionado por colegas, gestores ou pelos pais sobre a sua eficiência com relação aos objetivos educacionais e deve estar preparado para fundamentar a sua escolha metodológica. Se insiste no método tradicional de ensino esquecendo-se de suas limitações, como a falta de engajamento dos alunos que são tratados apenas como receptores de conteúdos, não promove o aprofundamento do conhecimento nem sua aplicação na vida real. Esse comportamento é reflexo da nossa cultura positivista, racionalista que tende a resistir a mudanças (Felício; Soares, 2018).

Deste modo, é essencial que o professor possa falar, com propriedade, sobre como o jogo está alinhado com os objetivos de aprendizagem e como ele contribui para o desenvolvimento social e emocional dos alunos. Os autores ainda afirmam que o uso de atividades lúdicas para o ensino pode transformar as estratégias de ensino, ocasionando alegria, entrosamento, novas formas de aprender e de ensinar, independente da natureza do conhecimento (Felício; Soares, 2018).

¹Yu-Gi-Oh! (ou "Rei dos Jogos" em japonês) é um jogo de cartas colecionáveis criado por Kazuki Takahashi em 1996, originalmente como uma série de mangá. O jogo envolve dois ou mais jogadores que utilizam baralhos personalizados com monstros, magias e armadilhas para reduzir os pontos de vida do oponente a zero.

3.2 JOGOS E ENSINO DE QUÍMICA

Ao explorar no aluno as diferentes motivações para aprender, o professor pode explorar diferentes pontos de vistas e interesses, em consequência se tem um aprimoramento da didática e uma valorização daquilo que o aluno já conhece (Felício; Soares, 2018).

Para além de motivar o aluno e melhorar seu rendimento na disciplina o uso dos jogos em química também podem buscar a construção de conceitos por meio de experiências e atividades desenvolvidas pelo aluno; desenvolver habilidades de busca e problematização de conceitos, contribuir para formação social do estudante, representar situações e conceitos químicos de forma esquemática ou por modelos (Cunha, 2012).

Com base nisto, os jogos podem estar dentro do planejamento do professor para apresentar e ilustrar aspectos importantes de um conteúdo, avaliar, revisar e/ou sintetizar, destacar, organizar temas, integrar assuntos de forma interdisciplinar e contextualizar conhecimentos (Cunha, 2012). Para tais fins, o professor deve ter clareza do seu objetivo e ter noção do momento adequado para cada jogo, sem a orientação correta do professor, o jogo será apenas um material de diversão, perdendo seu foco principal que é a aprendizagem.

Dessa maneira, Cunha (2012) chama atenção para utilização de jogos no ensino de química. O recurso didático não deve ser utilizado apenas para memorização de conceitos, fórmulas ou nomes. Quando os jogos fazem uso desses conteúdos, é uma forma do estudante se familiarizar com a linguagem da química e obter conceitos básicos para aprendizagem de outros conceitos mais avançados.

Por conseguinte, a autora diz que para o ensino de química são recomendados jogos mais elaborados, chamados de jogos intelectuais, que possuem características que facilitam a assimilação de conteúdos que para o aluno é muitas vezes abstrato, por meio de regras e objetivos bem delimitados. Ademais, eles permitem o estímulo de habilidades cognitivas que levam o aluno à formação de relações mais abrangentes e criativas (Cunha, 2012).

Essas habilidades cognitivas podem ser compreendidas a partir de diferentes matrizes teóricas. Cada qual admitindo perspectivas próprias de como essa aprendizagem ocorre e assumindo processos distintos para explicar essa aprendizagem.

Sendo assim, Cavalcanti *et al.* (2012) aborda a partir de um ponto de vista piagetiano o conceito de assimilação e acomodação. De modo geral, ao aprendermos um novo conceito, nosso sistema cognitivo o compara com um conceito já esquematizado. Se o conceito for muito novo ou inédito ele não é assimilado ao esquema já existente e é criado outro esquema para então ele ser devidamente acomodado (Cavalcanti *et al.*, 2012).

Ainda consoante aos autores, deve haver um equilíbrio entre esses dois mecanismos, para que exista a criação de diferentes esquemas, mas não tantos esquemas a ponto de os esquemas mentais serem revisados sem consistência. Havendo um equilíbrio, o indivíduo pode integrar novas informações ao mesmo tempo em que mantém uma base sólida de conhecimento (Cavalcanti *et al.*, 2012).

Trazendo essas ideias para o uso de jogos em sala de aula, a assimilação ocorre quando os alunos aplicam conceitos prévios para resolver o problema proposto pelo jogo e a acomodação ocorre quando os alunos se deparam com desafios diferentes dos desafios já conhecidos e precisam mudar suas estratégias para entender e resolver o problema. Ademais, uma forma de encontrar o equilíbrio entre acomodação e assimilação é pela explicação das regras e o uso de jogos que os alunos já conheçam, assim os alunos se aproximem de um esquema já conhecido, evitando confusões acerca da jogabilidade do jogo (Cavalcanti *et al.*, 2012).

Dessa forma, os jogos educacionais, em geral, têm se mostrado ferramentas valiosas para facilitar a assimilação de conceitos que, muitas vezes, são percebidos como abstratos pelos estudantes. Nesse contexto, o *Role Playing Game* se destaca por seu potencial de promover a imersão dos alunos em cenários que simulam situações reais e desafios relacionados ao conteúdo químico. Ao incorporar elementos de *RPG* no ensino de química, os professores podem criar narrativas que tornam os conceitos mais tangíveis e relevantes. Por exemplo, ao assumir papéis de personagens em uma missão que envolve a resolução de problemas químicos, os alunos são incentivados a pensar criticamente e a aplicar seus conhecimentos de maneira prática. Esse tipo de interação não apenas estimula a aprendizagem colaborativa, mas também desenvolve habilidades como a criatividade, o raciocínio lógico e a comunicação.

3.3 *ROLE PLAYING GAME* E A SALA DE AULA

RPG é a abreviação de *Role Playing Game* e a sua tradução mais popular é Jogos de interpretação. Essa tradução explica claramente a natureza do jogo. É popularmente conhecido por ser um jogo de “nerds” que assumem e personificam personagens populares da ficção científica como elfos, cavaleiros, anões, entre outros. É um jogo que pode ter objetos como o dado e o pião, mas que se pode usar apenas a imaginação.

O jogo se trata de uma grande aventura narrada por alguém, chamado de mestre que é quem conduz a partida descrevendo o ambiente no qual se passa o jogo, o que os jogadores estão vendo ou ouvindo, organiza as regras e determina os resultados das ações dos jogadores,

que por sua vez decidem quem são seus personagens, o que vão dizer ou fazer (Cavalcanti; Soares, 2009). Ainda consoante aos autores: “No *RPG*, o jogador não é um mero espectador, mas um participante ativo, que como ator, representa um papel e como roteirista, escolhe os caminhos que vai trilhar tomando decisões nem sempre previstas pelo mestre o que contribui enormemente para a recriação da aventura” (Cavalcanti; Soares, 2009, p. 256).

Sendo uma história contada, sobretudo de ficção, pode-se questionar sobre o uso do *RPG* em sala de aula, a realidade é que se pode criar e vivenciar infinitas histórias dentro do universo, inclusive histórias em que sejam necessários os conceitos químicos para superar os desafios encontrados e avançar a narrativa. Como o *RPG* possui as características da natureza de um jogo como liberdade de ação, incerteza, voluntariedade e é claro, as regras, como jogo pode ser adotado dentro da sala de aula por possuir um potencial educativo para que a aula seja ministrada com diversão e prazer (Cavalcanti; Soares, 2009).

Dessa forma, o *Role Playing Game* pode ser utilizado como estratégia de ensino e aprendizagem nas aulas de química. Isso se justifica, pois, a disciplina é muitas vezes considerada como difícil e abstrata por parte dos alunos, e é tratada de forma conteudista pelos professores, que não levam em conta diferentes formas de aprender, muito menos o desenvolvimento de novas habilidades.

Além de que o jogo promove uma interação entre os alunos, o que é benéfico principalmente para alunos tímidos, já que a atividade pode ajudar esses alunos a se sentirem mais confortáveis a descontrair com os colegas e com o professor. Segundo Cavalcanti e Soares, “como o *RPG* é jogado por um grupo de alunos, o conceito é apresentado pelo mestre da aventura fazendo com que todos os jogadores participem da discussão ocorrendo uma interação entre os jogadores na tentativa de desvendar o obstáculo sugerido” (Cavalcanti; Soares, 2009, p. 268).

Ademais, a dinâmica de jogabilidade do *RPG* permite que os alunos desenvolvam sua expressão oral, corporal, tenham atitude em relação aos desafios propostos, possibilita ações em grupo a partir de soluções coletivas e o conteúdo de química pode ser desenvolvido ao longo da história, esses aspectos atenuam as dificuldades de aprendizagem e a resistência dos alunos (Cavalcanti; Soares, 2019).

Além disso, a resolução de situações problemas por meio do *RPG* proporciona um ambiente no qual o professor pode utilizar o erro como uma oportunidade de o aluno refletir sobre a sua resposta. Segundo Hoffman (2014), o professor pode partir de “[...] ações de reflexão sobre o conhecimento, desafiando-o a evoluir, encontrar novas e diferentes soluções às tarefas sucessivamente apresentadas pelo professor” (Hoffman, 2014, p.73).

Cavalcanti e Soares (2009) ainda chamam atenção para o fato de que o jogo cria um ambiente acolhedor, no qual o aluno se sente confortável para se expressar e interagir com os colegas sem medo de julgamento ou da pressão por parte dos colegas ou dos professores.

De modo geral, a associação de um *RPG* ao ensino de química se dá pela resolução de obstáculos e problemas que envolvem situações nas quais conceitos químicos são necessários, a resolução do problema é fundamental pois sem ela, a história não avança. Além de se mostrar uma ferramenta interdisciplinar, que pode utilizar de diversas áreas do conhecimento.

Conforme Felício e Soares (2018),

[...] caberia ao professor/educador voltar-se às diferentes possibilidades de percepções dos alunos, explorar os diversos aspectos e implicações desse conhecimento na vida dos estudantes, por meio de práticas que permitam maior interação, questionamento e exposição a diferentes percepções e atitudes (Felício; Soares, 2018, p. 164).

Nesse sentido, a abordagem CTSA que visa integrar os conhecimentos científicos e tecnológicos com questões sociais e ambientais pode ser associada ao *RPG* por meio da resolução dos desafios para avançar a história.

Assim, os alunos podem explorar conceitos científicos e tecnológicos a questões sociais e ambientais em diversos cenários de ficção científica, fantasia ou cenários mais realistas, o que além de motivar a aprendizagem permite a discussão de como o avanço científico-tecnológico impactam a sociedade e o meio ambiente. Como o *RPG* exige a tomada de decisão por parte dos jogadores, essas decisões podem ter consequências dentro do jogo, o que leva os jogadores a considerarem os diferentes pontos de vista sobre a situação e ponderar o impacto de suas escolhas.

3.4 A ABORDAGEM CTSA E A FORMAÇÃO CIDADÃ

A presença da química no cotidiano deveria ser mais que suficiente para justificar a importância do conhecimento sobre ela. Conceitos básicos podem explicar acontecimentos da vida cotidiana como o uso de aditivo em alimentos (sobretudo nos ultraprocessados), a relevância de combustíveis alternativos, a compreensão de problemas ambientais como a poluição da água e do ar, o descarte adequado de pilhas e baterias, produção de medicamentos entre outros.

Acerca disso, quando os cidadãos estão informados sobre essas e outras questões que permeiam a sociedade, eles podem participar de debates de forma mais embasada além de não se deixarem ser enganados por *fake news*, ou por propaganda enganosa. Na atualidade as pessoas são bombardeadas o tempo inteiro com informações, verdadeiras e falsas, a

compreensão de conceitos básicos da química pode possibilitar a avaliação da informação e uma ação fundamentada em conhecimento científico.

Sendo assim, os cidadãos podem não apenas discutir questões que afetam a sociedade e o meio ambiente, mas também podem se tornar agentes ativos na promoção de soluções sustentáveis, influenciando políticas públicas e práticas que buscam conciliar o desenvolvimento tecnológico com a responsabilidade ambiental (Linsingen, 2007). Sem essa compreensão, é possível que as pessoas se envolvam em discussões de forma superficial e sem embasamento, o que pode levar a decisões inadequadas que impactam negativamente não só as suas vidas, mas a sociedade e o meio ambiente.

O processo educacional que visa a formação de indivíduos com competências e habilidades para uma participação ativa e crítica na sociedade é chamado de formação cidadã. Santos e Schnetzler (2010) abordam o conceito de cidadania e democracia sob uma perspectiva filosófica e sociológica. Eles contextualizam a origem do termo "cidadania" na Grécia Antiga, enfatizando a participação ativa como uma característica fundamental. Além disso, discutem o conceito de democracia, ressaltando a importância da participação dos indivíduos nas decisões coletivas, o que é essencial para a efetividade e legitimidade de um sistema democrático

Sendo assim, a formação cidadã envolve preparar o indivíduo para atuar em uma sociedade democrática, garantindo seus direitos e assumindo suas responsabilidades, outra caracterização da cidadania é que ela se dá por um processo de conquista de ocupar espaços na sociedade (Santos; Schnetzler 2010). Ainda consoante aos autores, o processo de cidadania pode ser auxiliado pelas diversas instituições que compõem a sociedade e entre elas a escola, que deve promover ações para que haja a participação do aluno, levando em conta o seu contexto cultural, para os autores:

A contextualização significa a vinculação do ensino com a vida do aluno bem como com as suas potencialidades levando-se em conta as ideias do aluno isso oferecendo condições para que se criem soluções para os problemas é que de fato se pode propiciar a participação deles no processo educacional em direção à construção de sua cidadania uma vez que dessa forma haverá uma identificação cultural e consequentemente a integração à escola (Santos; Schnetzler, 2010, p.32).

Uma das possibilidades de promover a contextualização é orientar a proposta pedagógica a partir de uma abordagem CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio Ambiente). Visto que essa visa a integração de conceitos da ciência e da tecnologia e seus impactos na sociedade e no meio ambiente, para essa abordagem, a ciência e a tecnologia não são fatores isolados. Por meio dela, se pode assimilar conhecimentos científicos e tecnológicos em contextos sociais, culturais e históricos, isso permite que os estudantes vejam que a ciência

não é neutra e que o seu desenvolvimento influencia e é influenciado por fatores sociais (Ramsey, 1993 *apud* Santos; Mortimer, 2000).

Auler e Bazzo (2001) e Santos *et al.* (2019) apontam historicamente para o movimento CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade), explicando que com o desenvolvimento da ciência e da tecnologia no século XX (com parte desse desenvolvimento em razão das guerras mundiais) houve uma mudança em alguns países, sobretudo de primeiro mundo, para a compreensão da ciência e da tecnologia na vida das pessoas. A priori, esse desenvolvimento foi visto com superioridade e atrelado ao bem-estar social. Porém, com o passar do tempo e com alguns acontecimentos como a degradação ambiental, a maior acentuação da diferença de classes e o desenvolvimento científico tecnológico atrelado a guerras (principalmente pelo desenvolvimento da bomba atômica e pela guerra do Vietnã), o olhar para o desenvolvimento científico e tecnológico passou a ser mais crítico (Auler; Bazzo, 2001).

Sob essa perspectiva, o progresso da ciência e da tecnologia se deu em três esferas: desenvolvimento; políticas públicas e educação por meio da introdução de programa e materiais sobre CTS, a temática de Meio Ambiente foi introduzida posteriormente, embora já estivesse presente na origem do movimento, sua explicitação passou a ser vista como necessária diante da crescente gravidade dos problemas socioambientais (Santos *et al.*, 2019; Bettencourt, 2000 *apud* Farias; Freitas, 2007; Abreu; Fernandes; Martins, 2009). Nesse contexto, a inclusão do “A” reflete a urgência de integrar a crise ambiental às reflexões sobre ciência, tecnologia e sociedade, fortalecendo a formação crítica e interdisciplinar (Vilches, Gil-Péres; Praia, 2011 *apud* Siqueira *et al.*, 2021).

Dessa forma, quando se pensa no ensino de química para formar um cidadão, se trata de levar o aluno a compreender os fenômenos químicos presentes no seu cotidiano, a manipulação de substâncias químicas, a interpretação das informações transmitidas pelos meios de comunicação e a tomar decisões diante de problemas sociais que envolvem a química (Santos; Schnetzler, 2010).

Para isso, Santos e Schnetzler (2010) afirmam que a formação cidadã deve ser baseada na inter-relação entre a informação química e o contexto social. A abordagem integrada desses dois aspectos deve ser trabalhada dentro de um contexto no qual a ciência mostre o seu papel na sociedade, sendo compreendida como uma atividade humana resultante de um processo de construção social.

Dessa forma, o objetivo final é formar indivíduos que tenham compromisso com ações sociais responsáveis e possam compreender politicamente a ciência como um todo, compreendendo os impactos positivos e negativos do seu desenvolvimento, seja, por exemplo,

na criação de vacinas até a química por trás dos alimentos ultraprocessados e o impacto desse desenvolvimento na sociedade e no meio ambiente.

4 METODOLOGIA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Este trabalho se trata de uma pesquisa aplicada, pois visa a aplicação de conhecimentos químicos, orientados por uma abordagem CTSA no desenvolvimento de um *RPG (Role Playing Game)*, tendo como público alunos do ensino superior.

4.2 ESTRUTURAÇÃO DO JOGO

A elaboração inicial consistiu na construção de um roteiro contendo a totalidade da narrativa do *RPG*, que fundamenta a arquitetura narrativa do jogo, que por sua vez é dividido em nove fases progressivas para facilitar a gradual complexificação dos desafios científicos apresentados aos estudantes. Cada fase foi desenhada para introduzir novas camadas investigativas e conceitos químicos específicos, como técnicas analíticas para detecção de contaminantes, fenômenos de bioacumulação e procedimentos de química forense. A progressão das fases também foi planejada para promover diferentes tipos de interação cognitiva, alternando entre momentos de análise científica, tomada de decisão estratégica e reflexão ética.

Ademais, tanto o design do jogo quanto a elaboração das cartas de resposta - destinadas às respostas das técnicas analíticas a serem empregadas em diferentes matrizes amostrais - foram desenvolvidos por meio da plataforma Canva, que possibilitou a criação de materiais visuais atrativos e organizados, favorecendo a mediação pedagógica e o engajamento dos discentes.

4.3 VALIDAÇÃO

Por se tratar de uma proposta, o *RPG* “Da Lama ao Caos” passou por um processo de validação teórica, utilizando os critérios estabelecidos por Simões Neto *et al.* (2016). Esta validação contemplou aspectos essenciais como interatividade, ludicidade, jogabilidade, aplicação correta de conceitos químicos, relevância do conteúdo e potencial pedagógico.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A abordagem CTSA visa integrar os conceitos científicos com questões sociais, tecnológicas e ambientais, proporcionando uma compreensão mais ampla e contextualizada sobre a ciência, o que viabiliza uma formação cidadã. Utilizar essa abordagem em um *RPG* pode permitir uma aprendizagem mais estimulante e efetiva na disciplina de química. Dentro do *RPG* os conceitos químicos podem ser utilizados para resolver problemas simulados que envolvam CTSA.

Por meio da narrativa do jogo, os alunos podem explorar como suas decisões têm impacto na sociedade e no meio ambiente, relacionando essas questões com princípios da química estudados. Assim, os alunos podem refletir sobre a responsabilidade ética do professor de química e o seu papel como educador na sociedade. Além de que é uma forma de os alunos da licenciatura verem outras formas alternativas de ensinar, fugindo do ensino tradicional no qual o professor é o centro e os alunos meras “esponjas” do conhecimento.

5.1 TEMÁTICA ESCOLHIDA

A criação da narrativa apresentou inicialmente um impasse: como manter o equilíbrio entre liberdade narrativa e objetivos pedagógicos? Considerando que um *RPG* se caracteriza por sua construção colaborativa durante a sessão de jogo, foi implementada uma estrutura narrativa com roteiro predeterminado, complementada por um sistema de escolhas limitadas. Esta abordagem permite preservar um grau apropriado de autonomia para os jogadores enquanto assegura que os conteúdos educacionais sejam adequadamente abordados. O sistema desenvolvido oferece caminhos narrativos predefinidos que, embora circunscritos, proporcionam experiências de aprendizagem efetiva sem comprometer a essência interativa que define o *RPG*.

A temática do garimpo ilegal em terras indígenas já despertava minha atenção, especialmente diante das recorrentes notícias sobre a situação alarmante nas terras Yanomami. Nestas áreas, comunidades inteiras enfrentam invasões, degradação ambiental e crises sanitárias severas provocadas pela atividade garimpeira ilegal.

Foi a partir desse interesse e da necessidade de aprofundar a discussão sobre os desdobramentos desse cenário que surgiu a ideia de trazer como elemento central do *RPG* o “narcogarimpo” - um fenômeno que entrelaça a mineração ilegal com redes criminosas organizadas. Ao usar essa situação como enredo, busquei criar uma contextualização ancorada

na realidade contemporânea, permitindo aos jogadores vivenciarem uma simulação fundamentada em casos concretos, favorecendo assim uma experiência educativa imersiva sobre os impactos sociais, ambientais e criminais do garimpo ilegal na Amazônia.

Dessa forma, a temática do jogo se fundamentou em pesquisa documental sobre problemas socioambientais contemporâneos, com foco específico no garimpo ilegal em terras indígenas no Brasil, seus impactos na vida das comunidades locais e as consequências do uso de mercúrio na extração de ouro.

As fontes inspiradoras desse enredo foram diversas reportagens investigativas que abordam a problemática do garimpo ilegal em territórios indígenas. Entre elas a série “Ouro do Sangue Yanomami” do Repórter Brasil que apresenta sete reportagens sobre como o ouro ilegal extraído de terras indígenas abastece o mercado formal, revelando uma complexa rede de corrupção e lavagem de dinheiro (Ribeiro *et al.*, 2021).

Outra reportagem relevante, publicada pelo Metrôpoles e intitulada “O papel dos narcogarimpos no lucro do crime organizado no Brasil” (Souza, 2025), aborda como a exploração ilegal do ouro em territórios indígenas e em áreas remotas da Amazônia está sistematicamente integrada às redes de financiamento do crime organizado nacional, contribuindo para o fortalecimento de facções armadas e para intensificação da violência nas regiões afetadas.

Também foram analisadas reportagens como "Cérebro de fetos Yanomami tem 7 vezes mais mercúrio de garimpo que o de adultos", com declarações do pesquisador Paulo Basta, da Fiocruz, que ressaltam os impactos tóxicos do mercúrio na saúde das populações indígenas (Felizardo, 2022), e "As pistas da destruição: Amazônia tem mais pistas de pouso clandestinas que legais", revelando a logística envolvida na sustentação do garimpo ilegal (Potter, 2022).

No campo audiovisual, foram incorporados documentários disponíveis no YouTube que complementam a abordagem investigativa e sensorial do tema, como “O Cerco; Documentário registra avanço do garimpo em terras indígenas e impactos no modo de vida” (Folha de São Paulo, 2024) “A perigosa vida das mulheres nos garimpos da Amazônia” (BBC News Brasil, 2024), “Ouro de Sangue: para onde vai o ouro ilegal garimpado na Anazônia” (BBC News Brasil, 2022 e “ Especial Narcogarimpos” (Repórter Brasil, 2023). Destaca-se ainda a reportagem sobre garimpo no Rio Madeira “Como funciona o garimpo ilegal no Rio Madeira” (O Globo, 2021).

Além dos aspectos sociais e ambientais, a construção da narrativa também se apoiou em pesquisas sobre técnicas analíticas aplicadas a amostras ambientais (Apêndice A). Estas técnicas fornecem metodologias complementares que permitem uma caracterização abrangente

de amostras ambientais, desde a identificação e quantificação de contaminantes inorgânicos e orgânicos até a avaliação dos impactos desses contaminantes nos ecossistemas. A escolha da técnica ideal para cada amostra é essencial para identificação e quantificação do mercúrio, que por sua vez são fundamentais para compreender o grau de contaminação resultante da atividade garimpeira.

A partir disso foi construído um cenário que representa um microcosmo dos desafios reais enfrentados na região amazônica, concebendo assim uma base contextualizada para a aplicação de conhecimentos científicos.

5.2 TÍTULO DO RPG

O título “Da Lama ao Caos” faz referência direta ao icônico álbum de Chico Science e Nação Zumbi, cuja música-título denuncia desigualdades sociais e a marginalização das periferias, elementos que ressoam fortemente na narrativa do *RPG*. O uso do nome sintetiza a essência da narrativa ao simbolizar tanto a destruição ambiental causada pelo garimpo ilegal quanto o colapso social e político que dela decorre. A “lama” remete à contaminação dos rios pelo mercúrio, à degradação dos ecossistemas e à exploração das comunidades locais, enquanto o “caos” representa a complexa rede criminosa que conecta a mineração ilegal ao tráfico de drogas, à corrupção política e à perpetuação de um sistema extrativista predatório.

5.3 A HISTÓRIA DO JOGO “DA LAMA AO CAOS”

Na narrativa desenvolvida, o cenário de São Sebastião do Tapuru representa um microcosmo dos complexos desafios ambientais e sociais enfrentados pela região amazônica. Apesar de se tratar de uma ficção, São Sebastião do Tapuru é uma pequena localidade ribeirinha situada às margens do Rio Madeira, na região amazônica brasileira. Esta comunidade, como muitas outras ao longo do rio, mantém forte relação com o curso d'água que define sua existência, economia e cultura (Mendes *et al.*, 2020).

O Rio Madeira por sua vez tem sido cenário de intensa atividade garimpeira desde a década de 1970, com períodos de maior ou menor intensidade ao longo das décadas. Os métodos de extração incluem principalmente o uso de dragas flutuantes, garimpo de mergulho com uso de mangueiras e compressores, e balsas equipadas com sistemas de sucção que removem o sedimento do leito do rio para separação do ouro. Esta atividade causa diversos impactos ambientais, como a contaminação por mercúrio (usado para amalgamar o ouro),

alteração da turbidez e assoreamento do rio, mudanças na morfologia do leito fluvial e sérios impactos sobre a biodiversidade aquática (Rocha, 2024).

No âmbito social, a extração de ouro no Rio Madeira gera conflitos entre garimpeiros, populações tradicionais e indígenas, além de problemas de saúde pública relacionados à exposição ao mercúrio, economia informal e questões trabalhistas complexas. A atividade acontece tanto de forma legal, em áreas com permissão de lavra, quanto ilegal, sendo que o garimpo não autorizado tem crescido consideravelmente nos últimos anos (Rocha, 2024).

Em vista disso, o garimpo ilegal, elemento central da trama, serve como um poderoso dispositivo pedagógico para explorar as intersecções entre desenvolvimento tecnológico, impactos socioambientais, práticas econômicas predatórias e as dinâmicas de poder local.

Cada personagem investigador possui uma formação profissional diferente, o que permite múltiplas perspectivas sobre o problema da contaminação por mercúrio e seus efeitos devastadores no ecossistema e na saúde da população. O jogo proposto “Da Lama ao Caos” busca, assim, não apenas narrar uma história, mas provocar reflexões críticas sobre os processos de degradação ambiental, as tensões entre desenvolvimento econômico e preservação e o papel de diferentes atores sociais na construção de alternativas mais sustentáveis.

Além disso, a presença de uma identidade política revela um mecanismo crucial de manutenção do capitalismo predatório na Amazônia. O personagem representa um arquétipo dos agentes econômicos que sistematicamente transformam a destruição ambiental em lucro, utilizando sua influência política para defasar práticas ilegais e naturalizar a exploração.

Através de uma rede sofisticada de lavagem de ouro, o deputado consegue inserir o ouro extraído ilegalmente em cadeias de comercialização formais, obliterando as origens da extração criminosa. Essa estratégia não apenas garante a continuidade do modelo extrativista destrutivo, mas também demonstra como as estruturas de poder político e econômico se articulam para perpetuar um sistema que privilegia a acumulação de capital em detrimento da preservação ambiental e dos direitos das comunidades tradicionais.

Dessa maneira, a mineração ilegal se transforma, então, em um elo fundamental de uma cadeia criminosa que conecta diferentes modalidades de exploração: a destruição ambiental, o tráfico de drogas e a corrupção política. O jogo expõe, assim, as múltiplas camadas de violência inerentes a um sistema que transforma sistematicamente crime em capital, ocultando as verdadeiras origens dos recursos e perpetuando redes de poder que se alimentam da vulnerabilidade social e ambiental da região amazônica.

5.4 AS REGRAS E MECÂNICAS

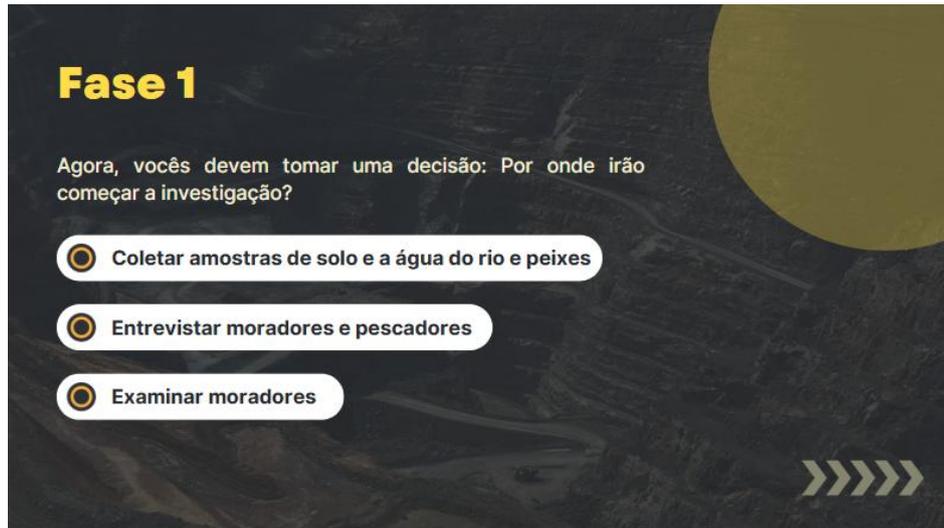
O jogo propõe uma abordagem narrativa imersiva e investigativa, em que a progressão da história depende diretamente das escolhas e interações dos jogadores. A dinâmica central do jogo se estabelece a partir de um modelo de investigação baseado no diálogo, na estratégia coletiva e no conhecimento específico de cada personagem.

Sendo assim, o professor, que é o mestre do jogo, assume o papel de comandante da missão e fornece as coordenadas a partir do quartel-general em Brasília. Ele entra em contato com os jogadores por meio de videoconferência e *walkie talkies*, garantindo um fluxo dinâmico de informações. O jogo deve possuir a quantidade mínima de 4 jogadores, que devem escolher entre os personagens: químico, biólogo, jornalista e guia local. Para um número maior de jogadores pode-se manter os personagens originais formando diferentes equipes de investigação. Os alunos excedentes podem ser integrados como assistentes ou observadores dentro dessas equipes, auxiliando os personagens principais em suas investigações. A dinâmica permanece a mesma, mas nas tomadas de decisões, as equipes devem discutir entre si os caminhos a serem percorridos.

Posto isso, o jogo começa com a leitura do prefácio para os jogadores, que tem como intenção inseri-los na narrativa por estabelecer um clima de urgência e mistério, transportando-os para o coração de uma crise ambiental na Amazônia. Apresentando um cenário de contaminação no Rio Madeira, um recurso vital para a cidade de São Sebastião do Tapuru, que agora exhibe uma coloração turva bastante incomum. A morte repentina de peixes e os sintomas alarmantes na população ribeirinha indicam que algo perigoso está em curso, exigindo uma investigação imediata. Com a convocação de uma equipe especializada, composta por profissionais de diferentes áreas, os jogadores assumem papéis essenciais na busca por respostas. A chegada à cidade e o encontro com a prefeita reforçam a gravidade da situação, levando os jogadores a uma escolha crucial: por onde começar a investigação?

A partir desse ponto, o enredo do jogo segue um sistema de opções limitada, no qual os investigadores devem discutir entre si e escolher uma entre as opções fornecidas pelo Mestre (Figura 1).

Figura 1 – Exemplo do Sistema de opções limitadas.



Fonte: própria.

Cada abordagem envolve chances de sucesso distintas, dependendo das habilidades dos personagens envolvidos. Como cada investigador pertence a uma área específica de conhecimento, se a escolha envolver a especialidade de um determinado personagem, a ação terá maior probabilidade de sucesso, podendo resultar em informações mais detalhadas e pistas adicionais. Em contrapartida, se a ação for realizada por um personagem sem vantagem na área, o resultado pode ser menos preciso, levando a informações inconclusivas, exigindo mais investigações. Como por exemplo, na Fase 3 os jogadores vão buscar por informações com comerciantes locais (Figura 2), para ter acesso a pistas o guia local ou a jornalista devem ir conversar com os comerciantes, caso contrário, a equipe não terá respostas.

Figura 2 – Pistas com comerciantes.



Fonte: própria.

Ademais, a progressão da narrativa ocorre através de nove fases distintas, cada uma revelando uma camada do complexo esquema de corrupção ambiental. As informações são construídas colaborativamente, com os jogadores precisando integrar as diferentes perspectivas para compreender o quadro completo. Não há sistema de pontuação ou rolagem de dados, algo comum ao universo dos jogos de RPG, e a progressão ocorre mediante a integração das diferentes perspectivas dos personagens. As decisões são tomadas por meio de negociação e argumentação.

O objetivo final transcende a simples resolução de um caso: trata-se de uma experiência educativa que visa desenvolver pensamento crítico, compreensão interdisciplinar e consciência sobre os complexos desafios socioambientais da Amazônia. Cada decisão, cada investigação, cada diálogo serve para descortinar as múltiplas camadas de uma realidade marcada por conflitos entre desenvolvimento econômico, preservação ambiental e justiça social.

Ao final das nove fases, os jogadores devem ser capazes de reconstruir a narrativa completa, revelando os mecanismos de corrupção, as redes de poder que sustentam o garimpo ilegal e os impactos profundos dessa atividade no ecossistema e nas comunidades locais. Mais do que encontrar culpados, o jogo propõe uma reflexão coletiva sobre as complexas relações entre tecnologia, sociedade, ambiente e poder.

O *RPG* pode integrar disciplinas como química, biologia, geografia e sociologia, sendo ideal para projetos interdisciplinares. O professor também pode coordenar com colegas de outras áreas para explorar as múltiplas dimensões do problema.

Além disso, o jogo pode funcionar como instrumento de avaliação, permitindo ao professor observar como os estudantes aplicam conceitos químicos na resolução de problemas complexos, avaliam evidências científicas e tomam decisões baseadas em dados. Podendo ser implementado no contraturno, proporciona uma experiência educativa mais prolongada que não seria possível dentro das limitações do horário regular de aula.

A flexibilidade do formato permite que o professor adapte o *RPG* de acordo com a disponibilidade de tempo, nível de conhecimento dos estudantes e objetivos pedagógicos específicos da disciplina.

5.5 AS FASES DO JOGO

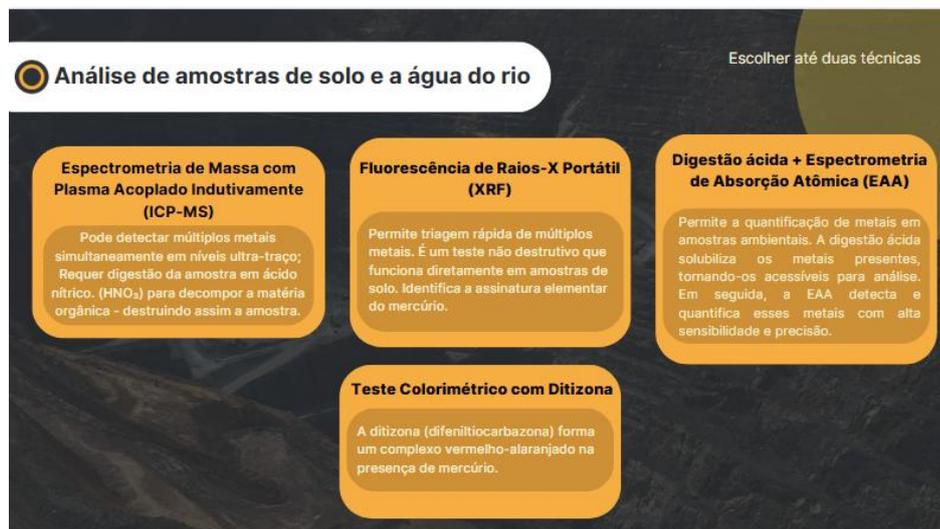
Com o intuito de garantir que o *RPG* cumpra seu papel como ferramenta de ensino e como uma experiência envolvente e imersiva, a utilização da química no jogo ocorreu por meio de desafios científicos. Sendo assim, a mecânica do jogo foi estruturada de forma que a coleta

e a análise de evidências exigissem conhecimentos químicos. As técnicas analíticas utilizadas estão no Apêndice A deste trabalho. Para ter acesso ao material completo, acesse o link: [Da Lama ao Caos](#)

5.5.1 Fase 1

Na Fase 1, ao darem início a investigação, os jogadores são desafiados a escolher entre diferentes técnicas químicas para análise ambiental, como o Teste Colorimétrico com Ditizona, a Fluorescência de Raios-X Portátil, Digestão ácida com Espectrometria de Absorção Atômica e a Espectrometria de Massa com Plasma Acoplado Indutivamente (Figura 3).

Figura 3 – Opções de Técnicas Analíticas iniciais.



Fonte: própria.

Cada uma dessas técnicas oferece diferentes níveis de precisão e limitações específicas que influenciam o desenvolvimento da investigação. Além do mais, a detecção de contaminantes em diferentes profundidades do solo e em diversos pontos do rio introduz conceitos sobre dispersão de poluentes em ecossistemas aquáticos, enquanto a interpretação dos resultados das análises exige que os jogadores comparem com parâmetros de segurança ambiental e tirem conclusões baseadas em evidências científicas.

Os resultados serão entregues aos jogadores a partir de cartas (Figura 4).

Figura 4 – Exemplo de carta resposta.



Fonte: própria.

Assim como uma tabela para comparar os resultados encontrados com os parâmetros de segurança (Figura 5).

Figura 5 – Tabela com parâmetros de segurança.

PARÂMETROS DE SEGURANÇA		
Órgão	Mercúrio	Metilmercúrio
Organização Mundial da Saúde (OMS)	6 µg/L em água; 0,5 mg/kg (mercúrio total em peixes)	Consumo de 1,6 µg/kg de peso corporal por semana (ingestão por meio de peixes contaminados) 0,23 µg/kg por dia
Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA)	2 µg/L para mercúrio em água	Consumo 0,1 µg/kg de peso corporal por dia
Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA Brasil):	0,5 µg/g (ou 0,5 mg/kg) para peixes não predadores; 1,0 µg/g (ou 1,0 mg/kg) peixes predadores (carnívoros)	-
Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA - Brasil) - Resolução nº 420/2009	Solo agrícola: 12 mg/kg de Hg; Solo industrial: até 70 mg/kg de Hg	-

Fonte: própria

Outro aspecto relevante é a análise de amostras biológicas. Ainda na Fase 1, a narrativa ilustra o fenômeno da bioacumulação, mostrando como o mercúrio se concentra na cadeia alimentar, afetando principalmente peixes predadores e, conseqüentemente, a vida não somente dos moradores da cidade, mas também da comunidade indígena.

De maneira adicional, a investigação pode incluir análise de amostras como cabelo, unhas e sangue, para identificar traços de mercúrio na população. Para essa análise, são disponibilizadas técnicas com diferentes níveis de especificidade (Figura 6).

Figura 6 – Opções de técnicas analíticas para análise biológica.

Escolham 1 técnica analítica

Examinar moradores

Amostras:

- Cabelo (3 cm próximos ao couro cabeludo) para análise de exposição crônica
- Sangue (5 mL) para análise de exposição recente
- Unhas.

Cromatografia Líquida de Alta Eficiência com Espectrometria de Massa (HPLC-MS)

Sistema que separa e identifica diferentes formas químicas de mercúrio (especiação), distinguindo entre mercúrio elementar e metilmercúrio. Essencial para determinar a origem da contaminação (consumo de peixes ou exposição direta), porém requer tempo e gera resíduos químicos.

Espectrometria de Absorção Atômica com Vapor Frio (CV-AAS)

Técnica padrão para quantificação de mercúrio total em amostras biológicas, onde o mercúrio é reduzido a vapor frio e detectado por absorção de luz. Recomendada pela ANVISA, é sensível e precisa, porém não diferencia formas de mercúrio e pode gerar resíduos tóxicos.

Microfluorescência de Raios-X (μ -XRF)

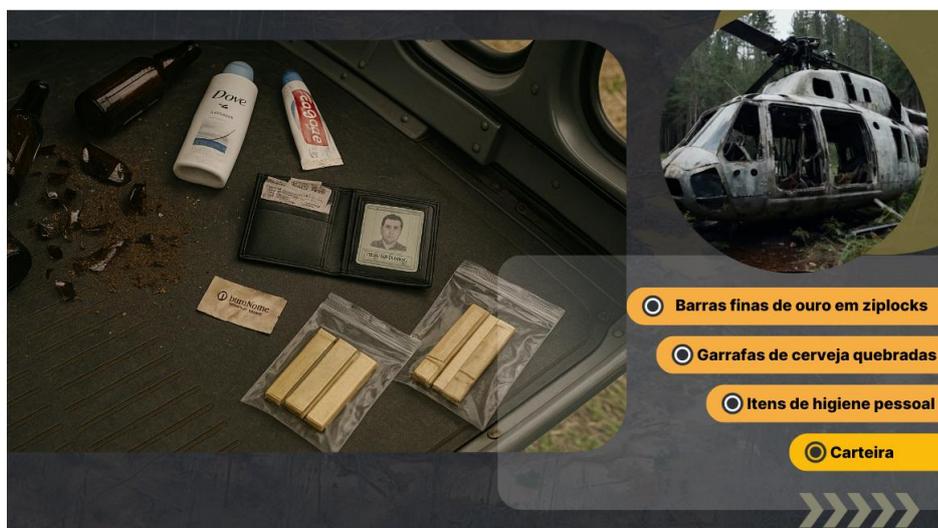
Método não-destrutivo que mapeia a distribuição espacial do mercúrio em amostras biológicas como cabelo e unhas. Revela padrões temporais de exposição através de gradientes de concentração, mas tem baixa sensibilidade para concentrações muito pequenas.

Fonte: própria

Métodos mais acessíveis permitem uma triagem inicial, enquanto técnicas avançadas, como a Cromatografia Líquida de Alta Eficiência acoplada à Espectrometria de Massas (HPLC-MS), possibilitam a distinção entre mercúrio elementar e metilmercúrio – este último sendo a forma mais tóxica, capaz de se acumular no organismo e causar danos neurológicos graves (Leopold; Foulkes; Worsfold, 2010; Bastos; Lacerda, 2004 *apud* Rocha, 2024).

Paralelamente aos aspectos educativos, a Fase 1 também imerge os participantes em uma abordagem investigativa com a descoberta de um helicóptero caído, perto de uma aldeia indígena, criando um momento de tensão e mistério (Figura 7).

Figura 7 – Helicóptero caído.



Fonte: própria

Evidências materiais como uma carteira com os documentos de Fernando Gonçalo, que possui passagem pela polícia por tráfico de drogas e contrabando na fronteira com a Colômbia, recibos de um posto de gasolina na fronteira com a Colômbia, *ziplocks* com barras finas de ouro embaladas com papel e um cartão de visita da empresa “OuroNorte Mineração”, estabelecem indícios de contaminação química e uma possível rede criminosa.

Complementarmente, as interações sociais com pescadores, ribeirinhos e indígenas não funcionam apenas como fontes de informação, mas exigem escolhas estratégicas sobre abordagens de comunicação que podem revelar ou obstruir caminhos investigativos importantes. Na fase inicial da investigação, esta dimensão estratégica se materializa quando a equipe se depara com uma situação de alto risco: recuar ou confrontar homens armados em embarcações camufladas. Optar pelo confronto comprometerá a segurança da equipe, podendo desencadear represálias severas. Como consequência, os investigadores serão neutralizados de forma abrupta, resultando na interrupção imediata da missão e exigindo a reformulação das estratégias operacionais para a continuidade da investigação.

Do mesmo modo, a decisão de entrar em contato com a comunidade indígena chama atenção de Yauá, uma personagem-chave que busca ajuda para seu filho, vítima de intoxicação por mercúrio. Ela também menciona a possibilidade de levar os investigadores a uma clareira na floresta no dia seguinte, um local de pouso frequente para aeronaves leves e ponto de acampamento dos garimpeiros. Adicionalmente, na aldeia os investigadores irão perceber que os jovens da comunidade utilizam acessórios e roupas que não pertencem ao universo material típico daquela comunidade. Ao questionarem Yauá sobre essa discrepância, descobrirão que os jovens indígenas estão possivelmente inseridos em uma rede que os explora como mão de obra para atividades ilícitas que contaminam suas águas e seus corpos.

5.5.2 Fase 2

A exploração da clareira dá início à Segunda Fase do jogo. Ao chegarem à nela, os investigadores encontrarão um acampamento armado dos garimpeiros, onde diversas evidências reforçam a atividade ilegal. Entre os itens descobertos estão um caderno contendo anotações sobre “entregas” e “peso do material”, além de equipamentos como dragas, bateias, vasilhas amassadas com mercúrio e cadinhos sujos, um dos quais ainda contém resíduos de ouro. Também será encontrado um saco de lixo contendo *ziplocks* com lâminas finas de ouro enroladas em papel, assim como outros *ziplocks* contendo um pó branco, ao lado de balanças de precisão (Figura 8).

Figura 8 – Materiais encontrados na clareira.



No canto da clareira, bateias, vasilhas amassadas com mercúrio, cadinhos sujos, um deles ainda contendo resíduos de ouro e um saco de lixo um com zip locks com lâminas finas de ouro enroladas em papel e alguns zip locks com pó branco, junto de balanças de precisão.

Fonte: própria

A presença desses materiais levanta uma série de questões investigativas. O caderno de anotações pode indicar uma logística organizada para o transporte do ouro extraído.

Para investigar adequadamente essas evidências, os investigadores poderão empregar um arsenal diversificado de técnicas analíticas forenses (Figura 9).

Figura 9 – Técnicas analíticas para amostras do ouro encontrado.



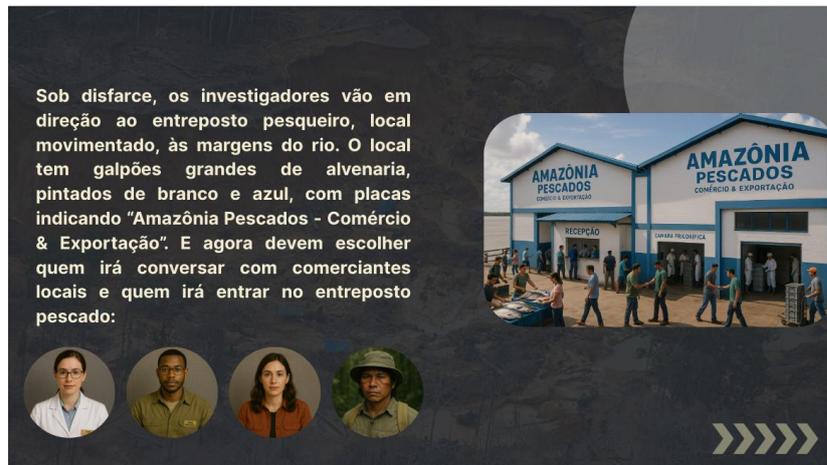
Fonte: própria

O conjunto destas análises permitirá aos investigadores estabelecerem conexões entre o ouro encontrado no helicóptero e o material apreendido na clareira, além de documentar o impacto ambiental da atividade ilegal e revelar possíveis vínculos com o tráfico de drogas, ampliando o escopo da investigação para um esquema criminoso mais complexo.

5.5.3 Fase 3

A narrativa evolui para a Terceira Fase quando os jogadores podem ser levados a um entreposto pescados, devido a uma informação da Comandante Costa que, ao investigar a OuroNorte Mineração, descobre que ela possui muitas transações com a empresa Amazônia Pescados (Figura 10).

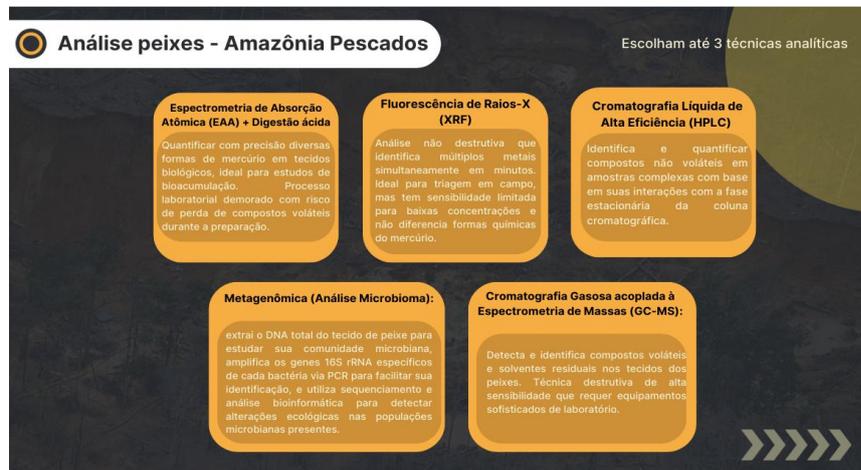
Figura 10 – Amazônia Pescados.



Fonte: própria

Apesar de funcionar, é uma empresa de fachada para transporte de solventes químicos. Essa fase surge para trazer mais uma pista, a identificação de solventes a partir de amostras dos peixes coletados e para questionar os investigadores em que esses compostos estariam sendo utilizados. Para chegar a essa informação, os jogadores devem escolher corretamente a técnica analítica a ser utilizada (Figura 11).

Figura 11 – Análise do peixe da Amazônia Pescados.



Fonte: própria

Além disso, conversando com o gerente, um dos investigadores vai descobrir notas fiscais com valores altíssimos marcadas como "transporte especial" e o guia local vai ver um dos funcionários pegando um saco plástico, escrito: "Produto químico – Uso restrito – Lote nº 78439”.

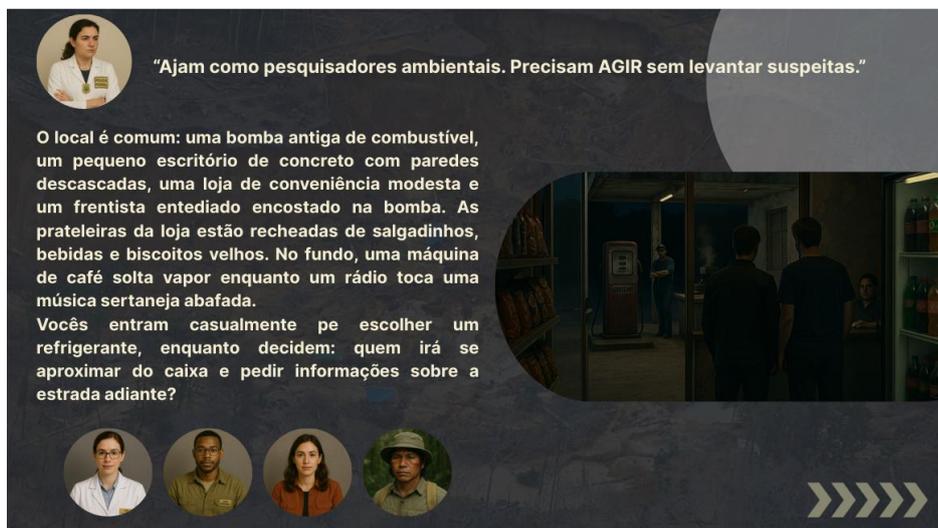
5.5.4 Fase 4

A fase subsequente do *RPG* (Fase 4) se destaca pelo foco na imersão narrativa e nas estratégias investigativas, sem exigir diretamente a aplicação de conceitos químicos. Aqui os jogadores vivenciam uma situação de alta tensão, na qual a abordagem correta pode significar o avanço na investigação, enquanto um erro pode comprometer todo o progresso feito até o momento.

A jornada até o posto de gasolina inicia com um clima de perseguição, aumentando a imersão e colocando os jogadores em um estado de alerta. A descrição detalhada do trajeto reforça a sensação de isolamento e risco, a perseguição de um caminhão estrangeiro também cria uma tensão crescente, exigindo que os jogadores tomem decisões rápidas para despistar os possíveis perseguidores.

Ao chegarem ao posto, a narrativa continua a reforçar o ambiente de suspense. O local aparenta ser apenas um estabelecimento comum, mas logo surgem elementos que indicam atividades suspeitas, como recibos de abastecimento pagos em dinheiro vivo sempre nos mesmos horários da madrugada (Figura 12).

Figura 12 – Posto de gasolina.



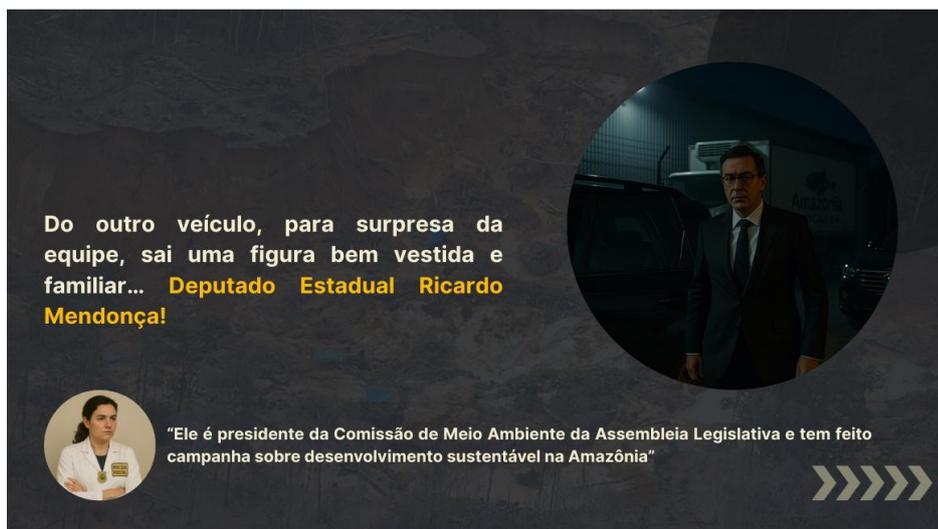
Fonte: própria

Diferente das fases anteriores, em que análises químicas e ambientais desempenham um papel central, aqui os jogadores precisam utilizar habilidades de persuasão e infiltração, para extrair informações sem despertar suspeitas. A verdadeira pista surge de maneira indireta, quando um homem misterioso, Fernando Gonçalo – o mesmo dos documentos encontrados – entra na loja e entrega um papel ao caixa. Neste momento, os jogadores podem usar uma abordagem furtiva a fim de criar uma distração para conseguirem pegar o papel e assim descobrirão uma coordenada: “KM 248 – Entrada de serviço – 03:45 AM”.

5.5.5 Fase 5

A ida ao KM 248 inicia a Quinta Fase. Indo até o local no horário descrito, os investigadores irão descobrir que se trata de um galpão “agrícola”. A estrutura possui segurança reforçada, câmeras de vigilância e patrulhamento armado, exigindo dos jogadores planejamento cuidadoso para não serem detectados. No pátio externo, um caminhão frigorífico com a logo da “Amazônia Pescados” sugere uma possível fachada para o transporte ilegal. Durante a vigia, a chegada de veículos de alto padrão e de um helicóptero revela a presença de figuras influentes no esquema, um deputado estadual, aprofundando a trama e evidenciando a interconexão entre crime ambiental, tráfico de drogas e corrupção política (Figura 13).

Figura 13 – Deputado estadual.



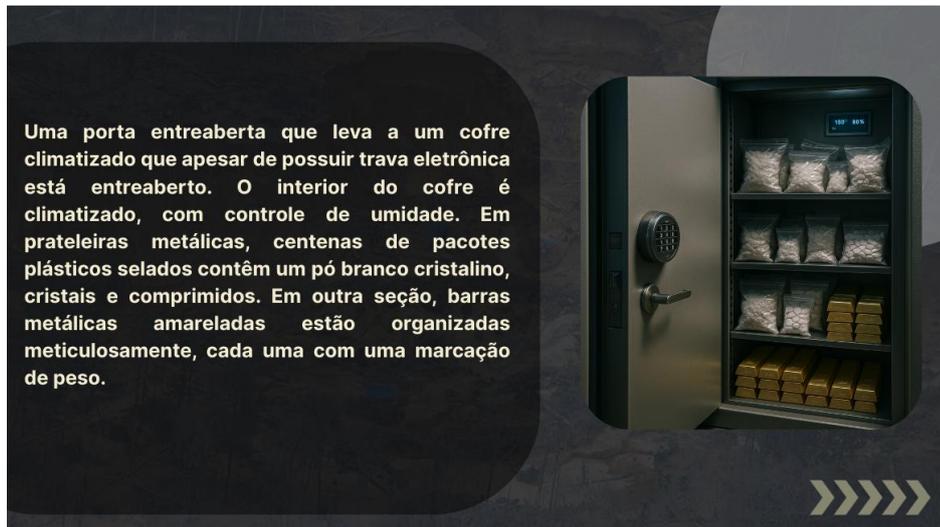
Fonte: própria

Além disso, também irão identificar jovens indígenas descarregando o caminhão da Amazônia Pescados, confirmando que estão sendo utilizados como mão de obra nesse esquema criminoso.

Caso os jogadores decidam e consigam entrar no galpão, podem documentar a movimentação de mercadorias e pessoas utilizando ferramentas como fotografia, registros escritos e escutas discretas. Os jogadores irão encontrar substâncias como permanganato de potássio, acetona industrial, éter etílico e ácido clorídrico, além de mercúrio metálico, fundamental para a extração ilegal de ouro. Essas descobertas reforçam os impactos ambientais do garimpo clandestino e destacam a importância do controle de precursores químicos na prevenção de crimes.

A exploração interna também irá revelar um cofre climatizado contendo não apenas barras de ouro de origem suspeita, mas também grandes quantidades de substâncias suspeitas, embaladas e prontas para transporte (Figura 14).

Figura 14 – Cofre climatizado.

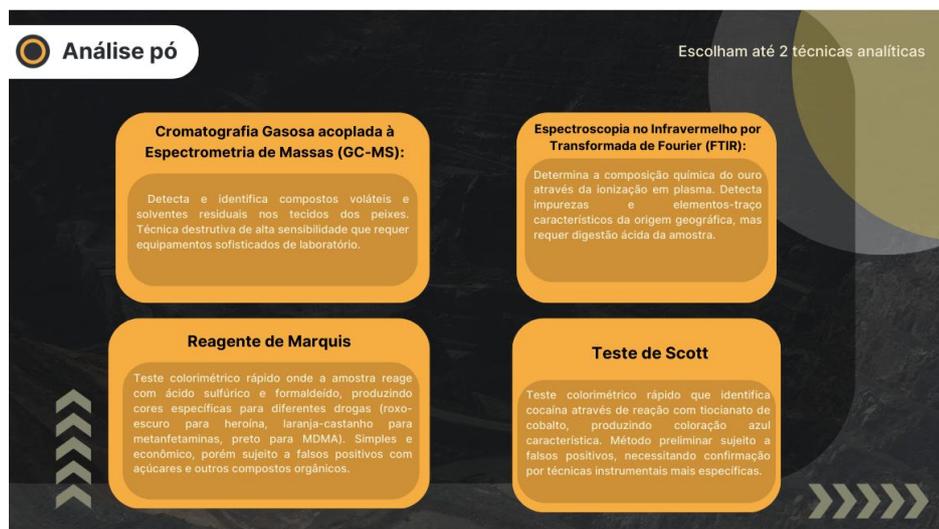


Fonte: própria

Também será possível a análise dos documentos administrativos que apontarão para um esquema de lavagem de dinheiro por meio de empresas de fachada, evidenciando a complexidade do crime organizado e permitindo que os jogadores desenvolvam um olhar crítico sobre a relação entre economia ilegal e degradação ambiental. Complementarmente, os jogadores poderão encontrar um tablet com GPS indicando uma localização a 30 km do galpão.

Para analisar o material coletado no galpão, os investigadores devem fazer uso de técnicas avançadas (Figura 15).

Figura 15 – Análise do pó encontrado no cofre.



Fonte: própria

Assim, irão descobrir a pureza dos solventes encontrados, que as substâncias embaladas são cocaína com alto índice de pureza e MDMA (3,4-metilenodioximetanfetamina, uma droga sintética, psicotrópica e alucinógena), além de que o ouro possui as mesmas características do ouro encontrado anteriormente.

Por conseguinte, o aspecto lúdico se intensifica quando a equipe precisa escapar sem ser detectada. Um erro pode levar ao acionamento do alarme e à necessidade de uma fuga improvisada, colocando em risco as provas coletadas. O jogo desafia os participantes a tomarem decisões rápidas e estratégicas, promovendo a resolução de problemas e a aplicação prática dos conhecimentos químicos.

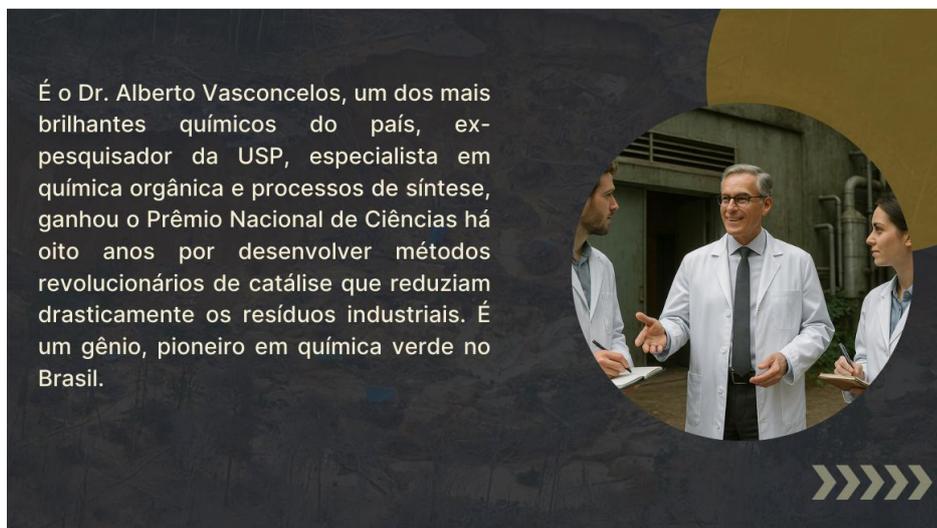
5.5.6 Fase 6

A Fase 6 se trata da nova localização encontrada e os jogadores terão que escolher: arriscar um caminho mais curto e perigoso ou contornar a área para minimizar exposição. Essa tomada de decisão incentiva a aplicação de lógica e raciocínio espacial, além de reforçar o caráter investigativo da missão.

Ao chegarem ao lugar os jogadores se deparam com um laboratório. A descrição detalhada das instalações, com tecnologia sofisticada e procedimentos ambientais atípicos para uma atividade criminosa, exige que os jogadores façam inferências sobre o que estão enfrentando. Esse aspecto do jogo destaca a importância da química no funcionamento do laboratório, demonstrando como conceitos científicos podem ser aplicados tanto para o bem quanto para práticas ilícitas.

Nesse momento do jogo surge uma figura importante, Dr. Alberto Vasconcelos, que adiciona um elemento de reviravolta e dilema moral. (Figura 16).

Figura 16 – Dr. Adalberto Vasconcelos.



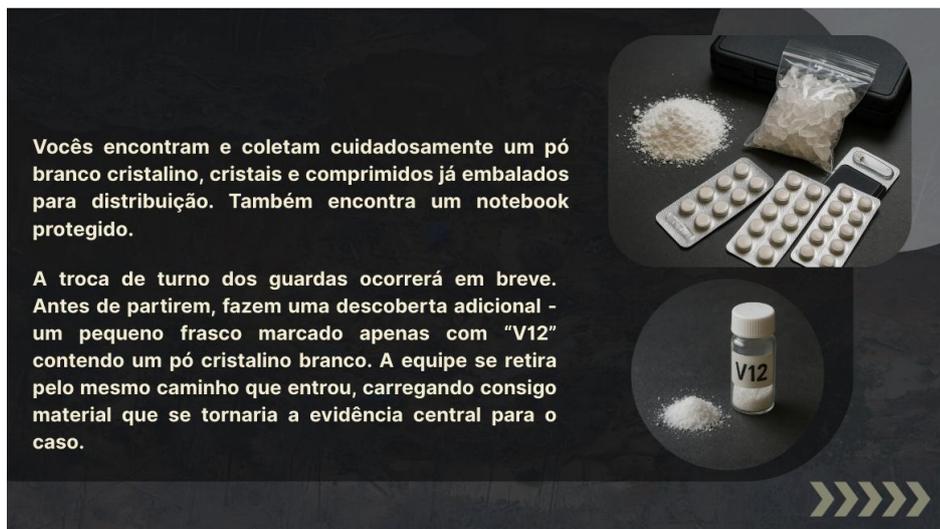
Fonte: própria

O jogo não apenas apresenta mais um antagonista, mas desafia os jogadores a refletirem sobre ética na ciência. Como um pesquisador renomado pode se desviar para o crime? Quais motivações poderiam levá-lo a utilizar seu conhecimento para algo destrutivo? Essa profundidade narrativa permite que os participantes explorem questões que vão além da química, tocando em aspectos sociais e filosóficos da prática científica.

A infiltração no laboratório é estruturada de forma a promover a interação entre os personagens e incentivar o uso de diferentes abordagens. Desde a identificação de pontos cegos no sistema de segurança até a coleta meticulosa de evidências, cada ação dos jogadores influencia o desenrolar da história. A necessidade de documentar cada amostra com precisão enfatiza a importância do método científico e da validade de provas, um aprendizado essencial para qualquer cientista.

Ademais, os jogadores encontrarão um cristal armazenado em um pote de vidro etiquetado como “V12” (Figura 17).

Figura 17 – Composto V12.



Fonte: própria

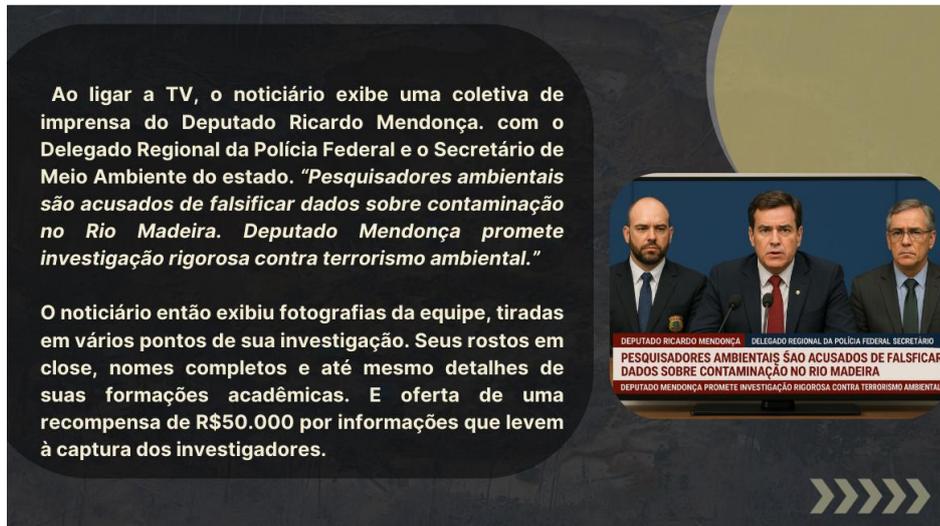
Utilizando as técnicas analíticas corretas, os jogadores irão perceber que não estão lidando apenas com drogas conhecidas, mas com o desenvolvimento de uma nova substância altamente viciante. Os jogadores são, dessa forma, desafiados a pensar sobre os impactos reais da inovação científica sem controle. Esse momento do jogo reforça a conexão entre pesquisa e responsabilidade, colocando a ciência no centro da narrativa.

A partir desse momento, as próximas fases exploram o impacto das fases anteriores e têm como objetivo fazer os jogadores considerarem de forma acentuada as consequências sociopolíticas de suas descobertas e escolhas.

5.5.7 Fase 7

Sendo assim, na Sétima Fase a operação é comprometida. Ao retornarem para base, os investigadores terão conhecimento que a operação vazou e que foram expostos em rede nacional pelo Deputado Mendonça, juntamente com outras figuras de autoridade como o delegado da Polícia Federal e o secretário de meio ambiente do Amazonas. A manchete jornalística “Pesquisadores ambientais são acusados de falsificar dados sobre contaminação no Rio Madeira” estabelece o cenário adverso (Figura 18).

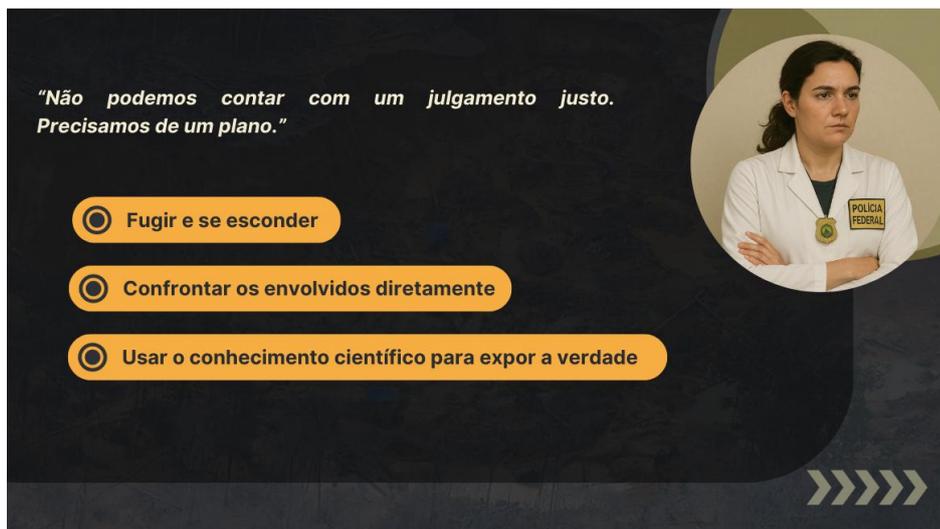
Figura 18 – Manchete jornalística.



Fonte: própria

Nesse contexto, o lúdico se manifesta na narrativa e na dinâmica de tomada de decisões em que cada escolha impacta diretamente o desfecho da investigação. A tensão é amplificada pelo tempo limitado para reagir, criando uma sensação de urgência. Diante desta situação, apresentam-se três alternativas resolutivas: fugir, confrontar diretamente ou utilizar estrategicamente o conhecimento científico (Figura 19).

Figura 19 – Alternativas Resolutivas.



Fonte: própria

Enquanto as opções de fuga ou confronto direto levam ao fracasso, a alternativa baseada na evidência científica se mostra a única capaz de garantir um resultado positivo. Esse aspecto reforça um tópico essencial, a importância da análise crítica para embasar a tomada de decisões.

Optando pela utilização estratégica do conhecimento científico, o jogo progride para um momento crucial: como tornar as evidências científicas reunidas eficazes para a resolução do caso? Nesse momento, a equipe precisa decidir rapidamente como apresentar os dados de forma clara e acessível para que a informação alcance e sensibilize a sociedade e onde divulgar essas descobertas (Figura 20).

Figura 20 – Possibilidades para utilizar as informações obtidas.



Fonte: própria

Com as evidências em mãos, os investigadores devem driblar tentativas de censura e garantir que as informações cheguem ao maior número possível de pessoas.

Para os jogadores, a primeira opção é a transmissão ao vivo, que representa um desfecho heroico e imediato, no qual os jogadores desafiam diretamente o sistema corrupto utilizando a divulgação pública como ferramenta de justiça. Esta via envolve maior risco, pois pode levar à prisão dos personagens, mas proporciona um impacto direto e irreversível na denúncia do crime ambiental.

A segunda alternativa é o vazamento para a imprensa, o qual demonstra um desfecho mais cauteloso e gradual. Os jogadores aprendem sobre os desafios da divulgação científica e da credibilidade da informação, enfrentando campanhas de desinformação e resistência institucional. Esse caminho está atrelado à importância do método científico e da reprodutibilidade dos dados, pois as evidências precisam ser verificadas por especialistas independentes para garantir sua aceitação. Além disso, enfatiza o papel da mídia na elucidação de crimes.

Já a terceira opção é uma negociação com o Ministério Público, que destaca a complexidade dos processos legais e políticos. Neste cenário, os jogadores devem considerar a

estabilidade institucional e os riscos de cooperação com autoridades potencialmente comprometidas. Embora ofereça certa segurança, também evidencia a fragilidade dos sistemas de justiça e como partes do esquema criminoso podem sobreviver, incentivando reflexões críticas sobre os limites das ações institucionais.

Optando pela transmissão ao vivo, a investigação conduzida pelos jogadores transcende os limites do caso em si e se torna um fenômeno nacional. Com mobilização nas redes sociais, protestos e manifestações em apoio à equipe investigativa. A presença científica se fortalece com a publicação de notas técnicas por especialistas de renome, corroborando as análises químicas conduzidas no jogo. Essa fase coloca os participantes diante da realidade do engajamento científico e da responsabilidade social.

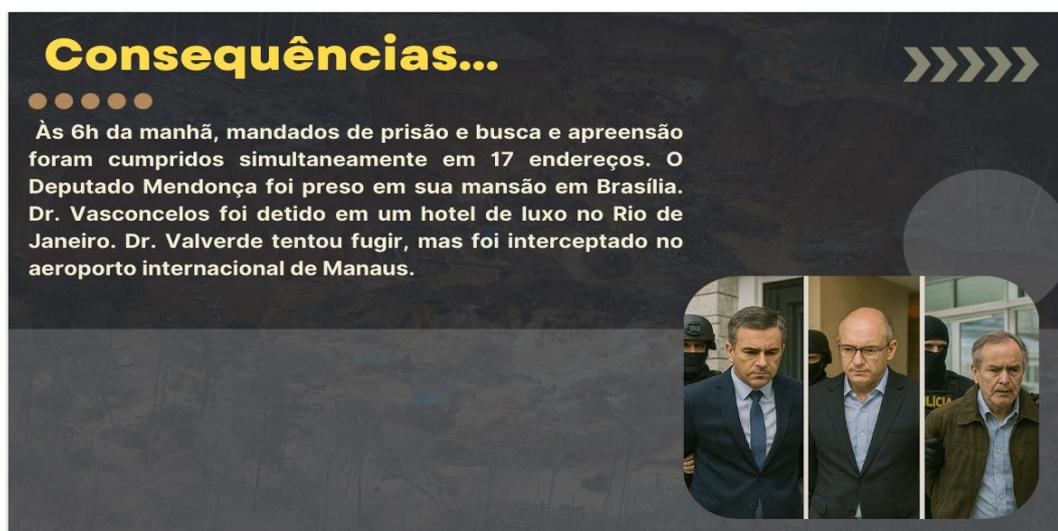
Entretanto, a situação se complica quando a polícia anuncia a prisão da Comandante e de uma colaboradora jornalista, sob acusações de envolvimento em atividades ilegais. O suspense e a tensão se intensificam quando os jogadores descobrem que o restante da equipe pode escapar, com ajuda de policiais que podem facilitar o acesso à aldeia de Yauá, além da disponibilização de telefones via satélite para compartilharem seus dados sobre o composto V12 com laboratórios internacionais.

Esse momento oferece uma abordagem educativa importante: os jogadores experimentam a relevância da cooperação científica global e podem aprender que a ciência pode influenciar políticas públicas e mobilizar forças institucionais. Eles também podem perceber como o conhecimento técnico pode ser um instrumento de denúncia e resistência contra crimes ambientais e sanitários.

5.5.8 Fase 8

A Fase Oito se inicia diante da crescente pressão da opinião pública e da comunidade científica internacional, com um *time skip* (passagem de tempo) de algumas semanas com a deflagração da Operação Hidrargíria – termo científico para intoxicação por mercúrio. Sob pressão pública, a Polícia Federal e o Ministério Público não podem mais ignorar as evidências. Em operação sincronizada, diversas figuras-chave do esquema criminoso são detidas. As evidências coletadas ao longo da investigação foram determinantes para as prisões e a obtenção de confissões (Figura 21).

Figura 21 – Consequências das escolhas dos jogadores.



Fonte: própria

Com isso, o *RPG* destaca o papel da química forense na justiça ambiental e evidencia como o conhecimento científico pode dismantelar redes criminosas complexas. Os jogadores não apenas aplicaram conceitos de química analítica, como também visualizam como a ciência pode fundamentar mudanças institucionais.

Entretanto, o jogo não termina com as detenções. Propõe-se um novo desafio: como os investigadores podem contribuir para a remediação dos danos causados pela contaminação por mercúrio? As opções de ação de intervenção destacam diferentes abordagens científicas e sociopolíticas: (1) Desenvolvimento de Tecnologias de Remediação, envolvendo fitorremediação e adsorventes sustentáveis, aplicando conhecimentos de química ambiental; (2) Articulação de Políticas Públicas, focalizando governança ambiental e demonstrando como a ciência pode influenciar na formulação de leis e mecanismos de fiscalização; (3) Educação Científica e Mobilização Social, explorando a importância da alfabetização científica e da conscientização ambiental para a prevenção de novos desastres (Figura 22).

Figura 22 – Contribuições dos jogadores para remediação dos danos causados.



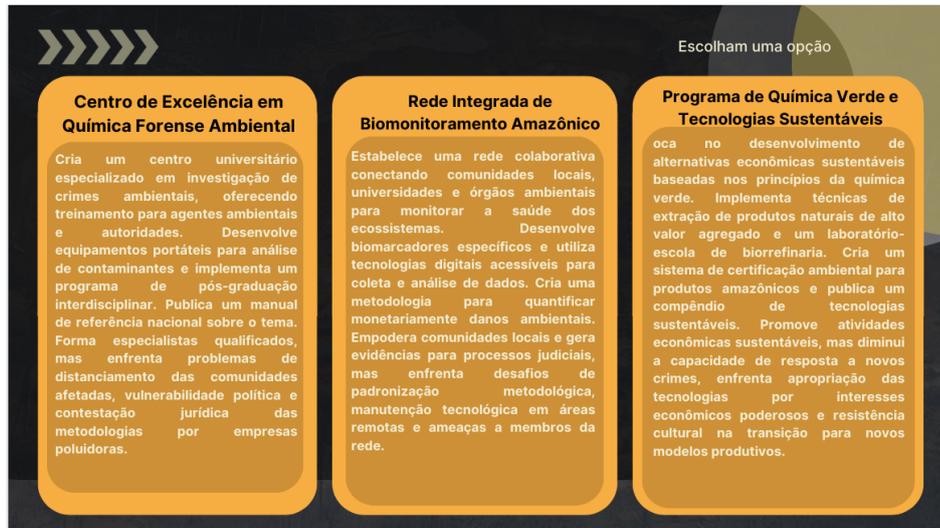
Fonte: própria

A decisão adotada reflete a postura dos jogadores em relação ao impacto a longo prazo da investigação, reforçando o caráter educativo do jogo ao demonstrar como diferentes estratégias podem moldar o futuro amazônico.

5.5.9 Fase 9

A Nona Fase situada cronologicamente um ano após os eventos centrais da narrativa, apresenta os jogadores retornando à região investigada e constatando mudanças significativas. O Rio Madeira apresenta sinais de recuperação e os níveis de mercúrio diminuíram em áreas críticas. Essa fase funciona como uma retrospectiva, e nela os participantes avaliam as consequências de suas escolhas e percebem como a ciência pode gerar impacto real na sociedade. A decisão final dos investigadores moldará o legado de seu trabalho (Figura 23).

Figura 23 – Legado dos jogadores.



Fonte: própria

O Centro de Excelência em Química Forense Ambiental seria um laboratório de referência na Universidade Federal do Amazonas, especializado na investigação de crimes ambientais, com infraestrutura avançada e capacitação de agentes. Sua atuação resultaria no *Manual Brasileiro de Química Forense Ambiental*, orientando práticas na área. No entanto, desafios como a integração com saberes locais e a dependência de financiamento poderiam comprometer sua eficácia.

A Rede Integrada de Biomonitoramento Amazônico funcionaria como uma plataforma de ciência cidadã, conectando comunidades, universidades e órgãos ambientais no monitoramento de poluentes. O uso de biomarcadores e aplicativos móveis permitiria registros georreferenciados de impactos ambientais, promovendo transparência e fiscalização descentralizada. Entretanto, dificuldades na padronização dos dados e riscos de represálias seriam desafios a enfrentar.

O Programa de Química Verde e Tecnologias Sustentáveis incentivaria alternativas econômicas sustentáveis na Amazônia, incluindo a extração de compostos bioativos e o reaproveitamento de resíduos agrícolas em uma biorrefinaria-escola. Um selo de certificação ambiental garantiria práticas responsáveis. Porém, haveria riscos de apropriação tecnológica por grandes empresas e resistência de setores extrativistas à mudança.

Cada alternativa finaliza a jornada dos jogadores de maneira distinta, mas todas evidenciam como a química forense e a ciência aplicada podem impactar políticas públicas, proteger ecossistemas e gerar transformações sociais duradouras.

Esta fase final reforça os aspectos lúdicos do jogo, permitindo que os participantes vejam o resultado de suas decisões a longo prazo. Ao conectar ciência, justiça ambiental e

engajamento social, o jogo não se trata apenas da química forense, mas também sobre o papel da ciência na construção de um futuro mais sustentável e na formação cidadã de cada indivíduo.

5.6 VALIDAÇÃO DO JOGO

Da Lama ao Caos foi pensado para ser utilizado como plataforma para aplicação dos conhecimentos teóricos em um contexto prático. Sendo uma proposta, a validação deste *Role-Playing Game* foi conduzida com base na metodologia proposta por Simões Neto *et al.* (2016), que apresenta critérios sistemáticos para avaliação da eficácia pedagógica de jogos educativos para o Ensino de Química, permitindo verificar tanto os aspectos lúdicos quanto o potencial de aprendizagem científica.

A aplicação deste modelo de validação visa examinar a adequação dos conceitos químicos inseridos na narrativa e a capacidade do jogo em proporcionar uma experiência lúdica envolvente. Sete critérios são utilizados para validação, sendo eles: Interação entre os jogadores, dimensão da aprendizagem, jogabilidade, aplicação, desafio, limitação de espaço e tempo e criatividade.

5.6.1 Interação entre os jogadores

Posto isso, O RPG “Da Lama ao Caos” apresenta forte potencialidade de cooperação entre os participantes, estruturando-se fundamentalmente como uma experiência colaborativa. O sistema de escolhas limitadas exige que os investigadores, cada um com formação profissional distinta (químico, biólogo, jornalista e guia local), discutam entre si para decidir os próximos passos da investigação. Esta mecânica incentiva o diálogo constante e a integração de diferentes perspectivas, pois o progresso da narrativa depende diretamente da capacidade dos jogadores de negociar e argumentar.

A complementaridade das habilidades dos personagens reforça a interdependência: ações que envolvem a especialidade de determinado personagem têm maior probabilidade de sucesso, o que motiva a valorização das competências individuais em prol do objetivo coletivo. O jogo não incorpora elementos competitivos entre os participantes, mas sim estimula a construção colaborativa de conhecimento para desvendar as complexas camadas do esquema criminoso ambiental.

5.6.2 Dimensão da aprendizagem

Se tratando da dimensão de aprendizagem, o *RPG* foi concebido como ferramenta pedagógica, visando a aprendizagem interdisciplinar. A narrativa integra de forma orgânica conceitos de química, biologia, geografia e sociologia, permitindo que os estudantes apliquem conhecimentos teóricos em situações-problema contextualizadas.

O jogo possibilita testar conhecimentos previamente construídos, especialmente na aplicação de técnicas analíticas para detecção de mercúrio e outros contaminantes, além da interpretação de resultados científicos comparados a parâmetros de segurança ambiental. A memorização de dados e fatos ocorre de maneira adequada e significativa, pois surge naturalmente como parte do processo investigativo, como na identificação de substâncias químicas específicas (permanganato de potássio, acetona industrial, éter etílico) e sua relação com atividades ilícitas. O *RPG* também promove aprendizagens socioemocionais ao abordar questões éticas sobre o uso do conhecimento científico, evidenciado pelo dilema apresentado na figura do Dr. Alberto Vasconcelos, um cientista que desvia seu conhecimento para práticas criminosas.

5.6.3 Jogabilidade

Ademais, a respeito da jogabilidade, o jogo é estruturado de forma relativamente simples, com um sistema de opções limitadas que elimina a necessidade de regras complexas ou rolagem de dados, tornando-o acessível mesmo para jogadores inexperientes. A narrativa linear com caminhos predefinidos, embora restrinja a liberdade total típica de outros *RPGs*, propicia a imersão necessária ao criar um equilíbrio entre autonomia dos jogadores e direcionamento pedagógico.

A ambientação detalhada na Amazônia, com descrições de cenários como o Rio Madeira contaminado, a aldeia indígena e o laboratório clandestino, contribui para a imersão sensorial. A progressão através das dez fases distintas, cada uma revelando novas camadas do esquema criminoso, mantém o engajamento constante. Os momentos de tensão narrativa, como a perseguição no caminho para o posto de gasolina ou a necessidade de escapar do galpão sem ser detectado, adicionam dinamismo e intensificam a experiência imersiva, criando situações que demandam decisões rápidas e estratégicas.

5.6.4 Aplicação

Acerca da aplicação, o jogo demonstra notável versatilidade em sua aplicação, podendo ser implementado em diferentes contextos educacionais. Pode funcionar como projeto interdisciplinar, integrando diversas áreas do conhecimento, ou ser adaptado para disciplinas específicas como química, biologia ou geografia.

Sua flexibilidade permite que seja utilizado tanto no horário regular de aulas quanto no contraturno, para experiências educativas mais prolongadas. O *RPG* pode ainda servir como instrumento de avaliação, permitindo ao professor observar como os estudantes aplicam conceitos científicos na resolução de problemas complexos. A mecânica do jogo admite ajustes conforme o nível de conhecimento dos estudantes e os objetivos pedagógicos específicos, podendo ser simplificada ou aprofundada. Além disso, oferece a possibilidade de incluir estudantes excedentes como assistentes ou observadores dentro das equipes de investigação, demonstrando adaptabilidade quanto ao número de participantes.

5.6.5 Desafio

Referente ao critério desafio, *Da Lama ao Caos* apresenta múltiplos níveis de desafio que estimulam o engajamento dos estudantes. Os jogadores são desafiados a aplicarem conhecimentos científicos em situações concretas, como na escolha das técnicas analíticas mais adequadas para cada tipo de amostra ou na interpretação de resultados laboratoriais.

Sob a perspectiva estratégica, exige tomadas de decisão em momentos críticos, como ao decidir confrontar ou recuar diante de homens armados ou ao escolher o método mais eficaz para divulgar as descobertas científicas. O jogo também apresenta desafios éticos, ao confrontar os jogadores com dilemas morais sobre o papel da ciência e a responsabilidade dos cientistas. A complexidade crescente do caso, revelando gradativamente as conexões entre garimpo ilegal, tráfico de drogas e corrupção política, mantém o nível de desafio adequado ao longo de toda a narrativa. A pressão temporal em certas fases e as consequências diretas das decisões tomadas intensificam o engajamento emocional dos participantes.

5.6.6 Limitação de Espaço e Tempo

Além disso, o *RPG* apresenta limitações de espaço adequadas para utilização em sala de aula, não requerendo deslocamentos físicos ou materiais elaborados para sua execução. A

narrativa ocorre principalmente através da mediação do professor (mestre do jogo) e da imaginação dos participantes, adaptando-se facilmente a diferentes configurações de espaço físico.

Quanto ao tempo, o formato por fases, permite flexibilidade na aplicação: o jogo pode ser segmentado em múltiplas sessões, correspondendo cada uma a diferentes fases da investigação, o que viabiliza sua adaptação ao tempo disponível nas aulas regulares. A progressão narrativa bem estruturada, com pontos claros de início e fim para cada fase, facilita essa divisão temporal. Adicionalmente, o jogo pode ser implementado no contraturno, proporcionando uma experiência educativa mais prolongada que não seria possível dentro das limitações do horário regular, demonstrando consciência sobre os constrangimentos temporais típicos do ambiente escolar.

5.6.7 Criatividade

Por fim, no tocante à criatividade, *Da Lama ao Caos* considera amplamente situações em que a criatividade dos jogadores é valorizada e estimulada. Embora opere com um sistema de opções limitadas, dentro de cada caminho escolhido há espaço para que os estudantes desenvolvam abordagens criativas para os problemas apresentados.

A interação com personagens não-jogadores, como pescadores, ribeirinhos e indígenas, exige escolhas estratégicas sobre abordagens de comunicação que podem revelar ou obstruir caminhos investigativos. Em momentos como a infiltração no laboratório ou no galpão, os jogadores precisam elaborar planos engenhosos para coletar evidências sem serem detectados. A fase que envolve decidir como divulgar as descobertas científicas incentiva particularmente o pensamento criativo, ao propor diferentes estratégias de comunicação e seus possíveis impactos.

O desfecho do jogo, com três alternativas distintas para contribuir com a remediação dos danos causados (Centro de Excelência, Rede de Biomonitoramento ou Programa de Química Verde), estimula os participantes a imaginarem criativamente o legado de sua investigação. A própria ambientação em um cenário fictício inspirado em problemas reais da Amazônia cria um espaço seguro para exploração criativa de soluções para desafios socioambientais complexos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O *RPG* elaborado Da Lama ao Caos pode proporcionar uma experiência educativa imersiva para o Ensino de Química, integrando conhecimento científico com questões socioambientais por meio da abordagem CTSA. A narrativa estruturada em nove fases, ambientada na região amazônica aborda a problemática do garimpo ilegal e seus impactos devastadores, como a contaminação em corpos hídricos e conseqüentemente em comunidades locais. Sendo assim os jogadores são confrontados com a realidade de um sistema extrativista predatório que transforma a destruição ambiental em lucro, que usa redes de poder para perpetuar desigualdades.

Ao assumir papel de especialistas, os jogadores são desafiados a aplicar seus conhecimentos químicos em situações investigativas. Sendo assim, técnicas como Espectrometria de Massa, Fluorescência de Raios-X e Cromatografia são incorporadas à narrativa, permitindo que conceitos científicos mais sólidos sejam aplicados.

Além disso, o jogo incentiva o diálogo e a discussão constante entre os participantes, promovendo habilidades essenciais como pensamento crítico, tomada de decisão coletiva e capacidade argumentativa. Apesar de usar um sistema de opções limitadas que restringe a liberdade total típica de outros *RPG's*, o jogo estabelece um equilíbrio entre a função lúdica e a função educativa, garantindo que os objetivos educacionais sejam alcançados sem comprometer a experiência lúdica.

Visando uma formação cidadã, o jogo coloca os estudantes em situações de dilemas éticos sobre o uso do conhecimento científico e suas implicações na sociedade e no meio ambiente, além de estimular reflexões sobre responsabilidade social, crimes ambientais e o papel da ciência na sociedade. Os jogadores podem compreender como o conhecimento químico pode ser utilizado tanto para promoção do bem-estar coletivo, quanto para promoção de práticas criminosas. A narrativa surge com a intenção de quebrar a ideia de neutralidade da ciência, uma vez que ela pode servir a interesses e ser atravessada por relações de poder, disputas ideológicas e desigualdades estruturais.

Ao final do jogo, as propostas de intervenção – seja pelo Centro de Excelência em Química Forense Ambiental, pela Rede Integrada de Biomonitoramento Amazônico ou pelo Programa de Química Verde e Tecnologias Sustentáveis – demonstram como a formação científica pode contribuir para transformações sociais significativas. Os participantes podem perceber que ser cidadão não significa apenas compreender problemas, mas também engajar-se ativamente na proposição de soluções e questionar quais perspectivas estão sendo

privilegiadas, quais estão sendo silenciadas, e como determinadas aplicações científicas podem reforçar ou desafiar desigualdades estruturais existentes.

A validação do jogo, baseada nos critérios de Simões Neto *et al.* (2016), confirma seu potencial como ferramenta pedagógica eficaz, equilibrando adequadamente interação entre jogadores, dimensão da aprendizagem, jogabilidade, aplicabilidade, desafio, limitações de espaço-tempo e estímulo à criatividade. A versatilidade do formato permite sua implementação em diferentes contextos educacionais, podendo servir tanto como projeto interdisciplinar quanto como instrumento de avaliação.

Ao integrar conhecimentos científicos com reflexões sobre ética, responsabilidade social e sustentabilidade, o *RPG* contribui para formar profissionais que não apenas dominam conceitos químicos, mas compreendem seu papel transformador na sociedade. Os estudantes desenvolvem uma visão crítica sobre as relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente, tornando-se cidadãos capazes de utilizar o conhecimento científico como instrumento de justiça ambiental e transformação social.

REFERÊNCIAS

- ABREU, Teo Bueno de; FERNANDES, João Paulo; MARTINS, Isabel. Uma análise qualitativa e quantitativa da produção científica sobre CTS (ciência, tecnologia e sociedade) em periódicos da área de ensino de ciências no Brasil. In VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC, Santa Catarina). 2009, Florianópolis, **Anais...** Florianópolis, UFSC, 2009. Disponível em: <https://fep.if.usp.br/~profis/arquivos/viienpec/VII%20ENPEC%20-%202009/www.foco.fae.ufmg.br/cd/pdfs/852.pdf> Acesso em 29 mar. 2025.
- A perigosa vida das mulheres nos garimpos da Amazônia. BBC News Brasil, 1 vídeo (24:44 min), 5 de dez. de 2024, Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=ALeJR8r3_pA. Acesso em 11 fev. 2025.
- AULER, Décio; BAZZO, Walter Antonio. Reflexões para a implementação do movimento CTS no contexto educacional brasileiro. **Ciência & Educação**, [S. l.], v. 7, n. 01, p. 01-13, 2001. Disponível em: <v07n01a01.pdf> (fcc.org.br). Acesso em 29 de fev. 2024.
- BARROS, Maria Rosane Marques; CAVALCANTI, Eduardo Luiz Dias. CTS e educação ambiental: Um diálogo possível?. **New Trends in Qualitative Research**, Oliveira de Azeméis, Portugal, v. 17, p. 01-13, 2023. Disponível em: CTS AND ENVIRONMENTAL EDUCATION: A POSSIBLE DIALOGUE? | New Trends in Qualitative Research (ludomedia.org). Acesso em 10 de set. 2024
- BROUGÈRE, Gilles. Lúdico e educação: novas perspectivas. **Linhas críticas**, Brasília, v. 8, n. 14, p. 5-20, 2002. Disponível em: Vista do Lúdico e educação: novas perspectivas (unb.br). Acesso em 29 fev. 2024.
- CAVALCANTI, Eduardo Luiz Dias; CARDOSO, Thiago M. G.; MESQUITA, Nyuara Araújo da Silva; SOARES, Márlon Herbert Flora Barbosa. Perfil Químico: debatendo ludicamente o conhecimento científico em nível superior de ensino. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 1-13, 2012. Disponível em: T190-Última versión-2.pdf (ufg.br). Acesso em 29 fev. 2024.
- CAVALCANTI, Eduardo Luiz Dias; SOARES, Márlon Herbert Flora Barbosa. O uso do jogo de roles (role playing game) como estratégia de discussão e avaliação do conhecimento químico. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 255-282, 2009. Disponível em: Microsoft Word - ART14_Vol8_N1.doc (uvigo.es). Acesso em 29 fev. 2024.
- Como funciona o garimpo ilegal no Rio Madeira. O Globo. 1 vídeo (3:43 min), 6 de dez. de 2021 Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Ppew7jRhv0c>. Acesso em 11 fev. 2025
- CUNHA, Marcia Borin da. Jogos no ensino de química: considerações teóricas para sua utilização em sala de aula. **Química Nova na Escola**, São Paulo-SP, BR v. 34, n. 2, p. 92-98, 2012. Disponível em: 07-PE-53-11.pdf (sbq.org.br). Acesso em 29 fev. 2024.
- FARIAS, Carmen Roselaine de Oliveira; FREITAS, Denise de. (2007). Educação Ambiental e Relações CTS: uma perspectiva integradora. **Ciência e Ensino**, [S.l.], vol. 1, n. especial,

2007. Disponível em:

EDUCA_C3_87_C3_83O_20AMBIENTAL_20E_20RELA_C3_87_C3_95ES_20CTS__20U
MA_20PERSPECTIVA_20INTEGRADORA-libre.pdf (d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net).

Acesso em: 10 set. 2024.

Especial Narcogarimpos. Repórter Brasil. 1 vídeo (1:48 min), 18 set. 2023. Disponível em:
<https://www.youtube.com/watch?v=qKzRyL84xT4>. Acesso em 11 fev. 2025.

FELÍCIO, Cíntia Maria; SOARES, Márlon Herbert Flora Barbosa. Da intencionalidade à
responsabilidade lúdica: novos termos para uma reflexão sobre o uso de jogos no ensino de
química. **Química Nova na Escola**, São Paulo-SP, BR v. 40, n. 3, p. 160-168, 2018.

Disponível em: EA-33-17.pdf (sbq.org.br). Acesso em: 29 fev. 2024.

FELIZARDO, Nayara. Cérebro de fetos Yanomami tem 7 vezes mais mercúrio de garimpo
que o de adultos. **Intercept Brasil**. 7 jun. 2022. Disponível em:

<https://www.intercept.com.br/2022/06/07/yanomami-fetos-mercurio-garimp-paulo-basta/>.

Acesso em 10 fev. 2025

HOFFMAN, Jussara. Uma visão construtivista do erro. In: HOFFMAN, Jussara. **Avaliação
mediadora: uma prática em construção da pré-escola à universidade**. Porto Alegre:
Mediação, 2014.

HUIZINGA, Johan. Natureza e significado do jogo como fenômeno cultural. In: HUIZINGA,
Johan. **Homo Ludens: O jogo como elemento da cultura**. 3. ed. Perspectiva: São Paulo, 2001.

LEOPOLD, Kerstin; FOULKES, Michael; WORSFOLD, Paul. Methods for the
determination and speciation of mercury in natural waters—a review. **Analytica Chimica
Acta**, [S.l.], v. 663, n. 2, p. 127-138, 2010. Disponível em:

[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003267010001303?casa_token=ez0X5zybk70AAAAA:vzzaMEMhIKmDhOec9ERpcJtX_jKf-](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003267010001303?casa_token=ez0X5zybk70AAAAA:vzzaMEMhIKmDhOec9ERpcJtX_jKf-TNBfw4V9phWe9Eg3mPCUd9uG8SujGpcUOozmFNPRsCb-RE)

TNBfw4V9phWe9Eg3mPCUd9uG8SujGpcUOozmFNPRsCb-RE Acesso em 7 mar. 2025.

LINSINGEN, Irlan von. Perspectiva educacional CTS: aspectos de um campo em
consolidação na América Latina. **Ciência & Ensino**, [S.l.], v. 1, n. especial, 2007. Disponível
em: Perspectiva educacional CTS: aspectos de um campo em consolidação (ifsc.edu.br).

Acesso em: 9 de set. 2024.

MENDES, Vanessa Alves *et al.* Prevalência e fatores associados à exposição ao mercúrio em
comunidades ribeirinhas na Amazônia Ocidental Brasileira. **Revista Brasileira de
Enfermagem**, [S.l.], v. 73, e2020100, p. 1-7, 2020. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/reben/a/YtRYDxtsTSfRBW86JsVzv8B/?lang=pt> Acesso em 12 fev.
2025.

O Cerco: Documentário registra avanço do garimpo em terras indígenas e impactos no modo
de vida. Folha de São Paulo, 7 de nov. de 2024, 1 vídeo (16:43 min) Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=3D0nTsQfi3Y>. Acesso em: 10 fev. 2025.

Ouro de Sangue: para onde vai o ouro ilegal garimpado na Amazônia?. BBC News Brasil, 1
vídeo (11:32 min), 8 de abr. de 2022, Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=CX2Jc4Rsyyw>. Acesso em 11 fev. 2025

POTTER, Hyury. As pistas da destruição: Amazônia tem mais pistas de pouso clandestinas que legais. **Intercept Brasil** 2 ago. 2022. Disponível em: <https://www.intercept.com.br/2022/08/02/amazonia-pistas-clandestinas-garimpo/>. Acesso em 10 fev. 2025

SIMÕES NETO, José Euzébio; SILVA, Rafael Branco; ALVES, Cláudia Thamires da Silva; SILVA, Joseane da Conceição Soares. Elaboração e validação de jogos didáticos propostos por estudantes do Ensino Médio. **Revista debates em Ensino de Química**, [S.l], v.2, n.2 ESP, p.47-54. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/REDEQUIM/article/view/1297>. Acesso em: 13 mar. 2025.

RIBEIRO, Maria Fernanda et al. Ouro do Sangue Yanomami. **Repórter Brasil**. 24 jun. 2021. Disponível em: <https://reporterbrasil.org.br/2021/06/ceu-sem-lei-e-controlado-por-garimpeiros/>. Acesso em 10 fev. 2025.

ROCHA, Volnei Fernandes. **Garimpo e o mercúrio no rio Madeira: uma breve revisão**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) - Departamento de Geociências da, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2024. Disponível em: <https://riu.ufam.edu.br/handle/prefix/8571> Acesso em: 17, fev, 2025.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos *et al.* O enfoque em CTS e a educação ambiental: “ambientalização” do ensino de ciências. In: SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos; MALDANER, Otávio Aloisio; Machado, Patrícia Fernandes Lootens (Orgs). **Ensino de Química em Foco**. 2. ed. Ijuí: Unijuí, 2019.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos; SCHNETZLER, Roseli Pacheco. **Educação em química: compromisso com a cidadania**. 4. ed. Ijuí: Unijuí, 2010.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos; MORTIMER, Eduardo Fleury. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ensaio Pesquisa em educação em ciências**, [S.l], v. 2, n. 2, p. 1-23, 2000. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/1295/129518326002.pdf>. Acesso em 29 mar. 2025.

SILVA, Cleberson Souza da; SOARES, Márlon Herbert Flora Barbosa. Estudo bibliográfico sobre conceito de jogo, cultura lúdica e abordagem de pesquisa em um periódico científico de Ensino de Química. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 29, p. 1-18, e23003, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/LcPwydsLBmgQmV8zm5vW9Fg/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 30 abr. 2024.

SIQUEIRA, Gisele Carvalho de *et al.* CTS e CTSA: em busca de uma diferenciação. **Revista Tecnologia e Sociedade**, [S.l], v. 17, n. 48, p. 16-34, 2021. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/viewFile/14128/8394>. Acesso em 29 mar. 2025.

SOARES, Márlon Hebert Flora Barbosa. Jogos e atividades lúdicas no ensino de química: uma discussão teórica necessária para novos avanços. **Revista debates em Ensino de Química**, v. 2, n. 2, p. 5-13, 2016. Disponível em:

<https://www.journals.ufrpe.br/index.php/REDEQUIM/article/view/1311/1071>. Acesso em: 27 fev. 2024.

SOUZA, Deivid, O papel dos narcogarimpos no lucro do crime organizado no Brasil. **Metrópoles**. 9 fev. 2025. Disponível em: <https://www.metropoles.com/brasil/o-papel-dos-narcogarimpos-no-lucro-do-crime-organizado-no-brasil>. Acesso em 12 de fev. 2025.

APÊNDICE A – TÉCNICAS

TÉCNICAS ESPECTROSCÓPICAS

1. Espectrometria de Absorção Atômica (EAA): Técnica que primeiro converte amostras sólidas em soluções através de ácidos fortes (geralmente HNO₃, HCl ou HF), seguido pela atomização da amostra por chama ou forno de grafite. Os átomos livres absorvem radiação eletromagnética em comprimentos de onda específicos para cada elemento, permitindo quantificação de metais em concentrações de ppm ou ppb. Amplamente utilizada para análise de metais em solos, alimentos e amostras ambientais. Referência: SKOOG, Douglas A *et al.* **Fundamentos De Química Analítica**. Thomson Editores Spain, 8ª edição, 2006.
2. Espectrometria de Absorção Atômica com Vapor Frio (CV-AAS): Variante específica da EAA para detecção de mercúrio com alta sensibilidade (limites de detecção na ordem de parte por trilhão). Utiliza cloreto estânico ou borohidreto de sódio para reduzir o Hg²⁺ a Hg⁰ gasoso à temperatura ambiente. O vapor de mercúrio é então conduzido para uma célula de absorção onde é quantificado pela absorção de radiação em 253,7 nm, sem necessidade de atomização térmica. Referência: ALMEIDA, Ione Lucenir Silva; COELHO, Nívia Maria Melo. Direct determination of inorganic mercury in ethanol fuel by cold vapor atomic absorption spectrometry. **Energy & fuels**, v.26, n.9, p. 6003-6007, 2012.
3. Fluorescência de Raios-X Portátil (XRF): Equipamento portátil que emite raios-X sobre a amostra, provocando a emissão de raios-X secundários característicos de cada elemento (fluorescência). Permite análise não destrutiva, in situ, de metais e outros elementos com número atômico superior ao do magnésio ($Z > 12$). Ideal para análises de campo em solos contaminados, objetos arqueológicos e materiais diversos, fornecendo resultados em segundos. Referência: SANTOS, Filipe Rodrigues dos. **Estudo espectroscópico de estruturas ósseas para avaliação da contaminação por metais pesados**. 2020. Dissertação de Mestrado. Universidade NOVA de Lisboa (Portugal). Disponível em: Santos_2021.pdf Acesso em 20 fev. 2025.
4. Microfluorescência de Raios-X (μ -XRF): Versão refinada da XRF que utiliza óptica focalizante para produzir feixes de raios-X com diâmetro entre 10-100 μ m. Permite mapear a distribuição espacial de elementos em áreas microscópicas com resolução

- micrométrica. Valiosa para análise de heterogeneidade em pequenas amostras, inclusões em minerais, camadas de pinturas e análise forense de micropartículas. Referência: SANTOS, Filipe Rodrigues dos. **Estudo espectroscópico de estruturas ósseas para avaliação da contaminação por metais pesados**. 2020. Dissertação de Mestrado. Universidade NOVA de Lisboa (Portugal). Disponível em: Santos_2021.pdf Acesso em 20 fev. 2025.
5. Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma (ICP-OES): Utiliza plasma de argônio a temperaturas extremas (6000-10000 K) para excitar átomos e íons. Ao retornarem ao estado fundamental, emitem radiação em comprimentos de onda característicos, permitindo análise multielementar simultânea com excelente sensibilidade (ppb). Possui ampla faixa linear de trabalho e capacidade de quantificar dezenas de elementos em poucos minutos. Referência: PEREIRA, Eduardo F.; SOUZA, Jurandir Rodrigues de. Modification of a Reaction Vessel for the Determination of Total Mercury in Hair by Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry. **Biological trace element research**, v. 130, p. 210-217, 2009. Disponível em: Modification of a Reaction Vessel for the Determination of Total Mercury in Hair by Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry | Biological Trace Element Research. Acesso em 24 fev. 2025.
 6. Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR): Analisa absorção ou transmissão de radiação infravermelha pela amostra, identificando grupos funcionais químicos através de suas vibrações moleculares características. O interferômetro e a transformada de Fourier proporcionam maior velocidade e sensibilidade. Pode ser acoplada a microscópios (micro-FTIR) ou utilizar técnicas de reflexão (ATR-FTIR) para análise de superfícies sólidas sem preparo extensivo. Referência: SKOOG, Douglas A *et al.* **Fundamentos De Química Analítica**. Thomson Editores Spain, 8ª edição, 2006.
 7. Espectroscopia UV-Visível: Mede absorção de luz ultravioleta e visível (190-800 nm), relacionada às transições eletrônicas em moléculas. Quantifica compostos coloridos e permite análises estruturais por grupos cromóforos. Utiliza a Lei de Beer-Lambert para relacionar absorvância com concentração. É empregada para análise de corantes, fármacos, contaminantes ambientais e biomoléculas com limites de detecção na faixa de ppm. Referência: RUFFINO, Barbara; KORSHIN, Gregory V.; ZANETTI, Mariachiara. Use of spectroscopic indicators for the monitoring of bromate generation in ozonated wastewater containing variable concentrations of bromide. **Water research**, v.182, p.1-13, 2020. Disponível em: Use of spectroscopic indicators for the

monitoring of bromate generation in ozonated wastewater containing variable concentrations of bromide. Acesso em 4 mar. 2025.

8. Ressonância Magnética Nuclear (RMN): baseia-se no comportamento de núcleos atômicos com spin não-nulo em campos magnéticos intensos. Fornece informações detalhadas sobre estrutura molecular, conectividade atômica e conformação espacial. RMN de ^1H e ^{13}C são os mais comuns, mas técnicas avançadas (2D-NMR, COSY, TOCSY, NOESY) permitem caracterização estrutural completa de moléculas complexas, determinação de pureza e análises quantitativas.

Técnicas de Espectrometria de Massa

9. Espectrometria de Massa com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-MS): Combina atomização por plasma de argônio (7000-10000K) com espectrometria de massa para ionização e detecção de elementos. Oferece detecção ultratraço (ppt-ppq) com capacidade multielementar. Utiliza analisadores de massa (quadrupolo, tempo de voo) para separar íons por razão massa/carga. Referência: SKOOG, Douglas A *et al.* **Fundamentos De Química Analítica**. Thomson Editores Spain, 8ª edição, 2006.
10. Cromatografia Líquida de Alta Eficiência com Espectrometria de Massa (HPLC-MS): Integra separação cromatográfica líquida de alta resolução com identificação por espectrometria de massa. As interfaces de ionização mais comuns são electrospray (ESI) e ionização química à pressão atmosférica (APCI). Permite análise de compostos não-voláteis, termolábeis e polares com alta sensibilidade e especificidade, identificando substâncias por suas massas moleculares e padrões de fragmentação característicos. Referências: DUSSY, Franz E.; HAMBERG STÄUBLI, Cornelia; BRIELLMANN, Thomas A. The Application of LC-MS in Forensic Toxicology. *Chimia*, v. 56, n. 3, p. 115–118, 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/233563864_The_Application_of_LC-MS_in_Forensic_Toxicology. Acesso em: 8 mar. 2025.
11. Cromatografia Líquida acoplada à Espectrometria de Massas (LC-MS): Similar ao HPLC-MS, mas enfatizando a versatilidade das técnicas cromatográficas líquidas (UHPLC, nano-LC) acopladas à espectrometria de massas. Técnica indispensável para identificação e quantificação de poluentes emergentes, fármacos, peptídeos e biomarcadores em matrizes complexas com alta sensibilidade. Referência: CAVALCANTI, Rafael Christofoli. Espectrometria de massa acoplada à cromatografia líquida e gasosa: sua aplicação nas ciências forenses. **Acta de Ciências e Saúde**, v. 1,

- n. 1, p. 1-5, 2016. Disponível em: ESPECTROMETRIA DE MASSA ACOPLADA À CROMATOLOGRAFIA LÍQUIDA E GASOSA: SUA APLICAÇÃO NAS CIÊNCIAS FORENSES | Cavalcanti | ACTA DE CIÊNCIAS E SAÚDE Acesso em 23 fev. 2025.
12. Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (GC-MS): Combina a alta eficiência de separação da cromatografia gasosa com a especificidade da espectrometria de massas. Ideal para compostos voláteis ou semi-voláteis termicamente estáveis. A ionização por impacto de elétrons (EI) gera padrões de fragmentação reprodutíveis que permitem identificação por comparação com bibliotecas espectrais. Fundamental em análises ambientais, forenses e de produtos petroquímicos. Referência: HOFFMANN, Edmond; STROOBANT, Vincent. **Mass spectrometry: principles and applications**. John Wiley & Sons, 3ª edição, 2007.
 13. Cromatografia Líquida Acoplada à Espectrometria de Massas Em Tandem (LC-MS/MS): Utiliza dois estágios de espectrometria de massas em sequência, geralmente com um triplo quadrupolo. No primeiro estágio, selecionam-se íons precursores que são fragmentados e analisados no segundo estágio. Oferece seletividade e sensibilidade excepcionais, com limites de detecção na faixa de partes por trilhão- partes por quadrilhão (ppt-ppq). Essencial para análise de traços em matrizes complexas, estudos de metabolismo e quantificação de resíduos de pesticidas e fármacos. Referência: SKOOG, Douglas A *et al.* **Fundamentos De Química Analítica**. Thomson Editores Spain, 8ª edição, 2006.
 14. Análise Direta em Espectrometria de Massa em Tempo Real (DART-MS): Técnica de ionização ambiente que permite análise direta de amostras em estado sólido, líquido ou gasoso sem preparo prévio. Um jato de gás hélio aquecido e eletricamente excitado ioniza moléculas diretamente da superfície, gerando íons que são analisados por espectrometria de massas. Proporciona análise em segundos, sendo valiosa para triagem rápida em controle de qualidade e investigações forenses. Referência: HOFFMANN, Edmond; STROOBANT, Vincent. **Mass spectrometry: principles and applications**. John Wiley & Sons, 3ª edição, 2007.
 15. Espectrometria de Massas por Ionização Ambiente (EASI-MS): Técnica de ionização branda e rápida que utiliza spray sônico para ionizar moléculas diretamente das superfícies, sem necessidade de calor ou alto potencial elétrico. Permite análise instantânea e não destrutiva de documentos, alimentos, drogas e explosivos sem preparo de amostra. Ideal para triagem forense e controle de qualidade em tempo real. Referência: ALBERICI, Rosana M.; *et al.* Celebrating 10 years of easy ambient sonic-

spray ionization. **Trends in Analytical Chemistry**, v.85, p.64–72, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165993616303570>. Acesso em 14 mar. 2025.

16. Espectrometria de Massa de Razão Isotópica (IRMS): Mede com alta precisão as razões de isótopos estáveis como $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^2\text{H}/^1\text{H}$ e $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$. Utiliza espectrômetros de setor magnético de alta resolução para distinguir pequenas diferenças na abundância isotópica. Fundamental para determinar origem geográfica, autenticidade de alimentos, estudos ambientais e análise forense de drogas, explosivos e combustíveis. MUCCIO, Zeland; JACKSON, Glen P. Isotope ratio mass spectrometry. **Analyst**, v. 134, n. 2, p. 213-222, 2009.

TÉCNICAS CROMATOGRÁFICAS

17. Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE/HPLC): Separa componentes de uma mistura ao distribuí-los entre uma fase móvel líquida e uma fase estacionária sólida contida em uma coluna de aço inoxidável. Utiliza bombas de alta pressão (até 400 bar) e colunas com partículas de 3-5 μm . Variantes incluem fase reversa (RP-HPLC), troca iônica, exclusão por tamanho e afinidade. Detectores comuns são UV-Vis, fluorescência, arranjo de diodos (DAD) e índice de refração. Aplicada na separação de uma ampla gama de compostos orgânicos. Referência: SKOOG, Douglas A *et al.* **Fundamentos De Química Analítica**. Thomson Editores Spain, 8ª edição, 2006.
18. Cromatografia em Camada Delgada (CCD): Técnica de separação onde a fase estacionária é uma fina camada de adsorvente (sílica, alumina) sobre um suporte plano. A fase móvel ascende por capilaridade, separando os componentes conforme suas interações diferenciadas. Oferece análise rápida, econômica e simultânea de múltiplas amostras. A visualização pode ser por luz UV, reagentes cromogênicos ou carbonização. Valiosa para triagem, monitoramento de reações e pureza de compostos. Referência: SKOOG, Douglas A *et al.* **Fundamentos De Química Analítica**. Thomson Editores Spain, 8ª edição, 2006.
19. Eletroforese Capilar: Separa moléculas baseando-se em suas mobilidades eletroforéticas em um capilar de sílica fundida (25-100 μm) sob campo elétrico intenso (10-30 kV). Oferece alta eficiência de separação e requer volumes mínimos de amostra (nL). Variantes incluem eletroforese capilar de zona (CZE), cromatografia eletrocínética micelar (MEKC) e eletroforese capilar em gel. Excelente para análise de íons, proteínas,

ácidos nucleicos e pequenas moléculas. Referência: SKOOG, Douglas A *et al.* **Fundamentos De Química Analítica**. Thomson Editores Spain, 8ª edição, 2006.

Técnicas Microscópicas

20. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) acoplado a Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS): Utiliza um feixe de elétrons para mapear superfícies com resolução nanométrica, gerando imagens tridimensionais detalhadas. O detector EDS (Espectroscopia de Energia Dispersiva) captura raios-X característicos dos elementos presentes, permitindo análise elementar qualitativa e semi-quantitativa pontual ou por mapeamento. Essencial para caracterização morfológica e composicional de materiais, análise de falhas, estudos forenses e nanotecnologia. Referências: PATHAK, Jumisree Sarmah; SAXENA, Arvind Kumar. Significance of Using Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray Spectrometry (SEM-EDX) for Analysis of Evidence Material in Forensic Sciences. **Asian Journal of Research and Reviews in Physics**, v. 8, n. 2, p. 1–11, 2024. Disponível em: <https://journalajr2p.com/index.php/AJR2P/article/view/159>. Acesso em: 8 abr. 2025.
21. Microsonda Eletrônica: Instrumento especializado que combina microscopia eletrônica com espectrometria de raios-X de alta precisão. Usa um feixe de elétrons focalizado (0,1-1 µm) para excitar áreas microscópicas e analisar raios-X característicos com espectrômetros WDS (Wavelength Dispersive Spectrometry), mais precisos que EDS. Permite análise elementar quantitativa com limites de detecção de 10-100 ppm e mapeamento de distribuição elementar em escala micrométrica. LLOVET, Xavier *et al.* Reprint of: Electron probe microanalysis: A review of recent developments and applications in materials science and engineering. **Progress in Materials Science**, v. 120, p. 100818, 2021. Disponível em: (PDF) Reprint of: Electron probe microanalysis: A review of recent developments and applications in materials science and engineering Acesso em: 7 mar. 2025.

TESTES COLORIMÉTRICOS E QUÍMICOS

22. Teste Colorimétrico com Ditizona; Utiliza o reagente orgânico difenil-tiocarbazona que forma complexos coloridos específicos com metais pesados como Pb, Cd, Hg e Zn. Em solução de clorofórmio, a ditizona é verde, mas muda para vermelho, laranja ou roxo na presença destes metais. Permite análise rápida de campo para triagem de contaminação

- por metais pesados em águas e solos. Referência: BALASURYA, S. *et al.* Colorimetric detection of mercury ions from environmental water sample by using 3-(Trimethoxysilyl) propyl methacrylate functionalized Ag NPs-tryptophan nanoconjugate. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 207, p. 111888, 2020. Disponível em: Colorimetric detection of mercury ions from environmental water sample by using 3-(Trimethoxysilyl)propyl methacrylate functionalized Ag NPs-tryptophan nanoconjugate - ScienceDirect Acesso em 18 de fev. 2025.
23. Teste de Scott: Teste de campo para cocaína baseado em três reagentes sequenciais. O tiocianato de cobalto em solução acidificada reage com a cocaína formando um complexo azul. Especificidade é aumentada pela adição posterior de ácido clorídrico e clorofórmio. Amplamente utilizado em análises forenses preliminares. Referência: MARCELO, M C. A. *et al.* Scott test evaluation by multivariate image analysis in cocaine samples. **Microchemical Journal**, v. 127, p. 87-93, 2016. Disponível em: Scott test evaluation by multivariate image analysis in cocaine samples - ScienceDirect Acesso em: 27 fev. 2025.
24. Reagente de Marquis: Mistura de formaldeído e ácido sulfúrico concentrado que detecta alcaloides e outras substâncias por reações coloridas características. Anfetaminas geram cor laranja-marrom, MDMA produz cor roxa-preta, e opiáceos como heroína e morfina desenvolvem coloração roxa intensa. Usado em análises toxicológicas preliminares e identificação de drogas. NAGY, Gábor; SZÖLLŐSI, István; SZENDREI, Kálmán. Colour Tests for Precursor Chemicals of Amphetamine-Type Substances The Use of Colour Tests for Distinguishing between Ephedrine-Derivatives. **Scientific and technical notes**, v. 2005, 2005. Disponível em: Microsoft Word - SCITEC20-fin.doc Acesso em 27 fev. 2025.
25. Teste Duquenois-Levine: Ensaio confirmativo de três etapas para canabinoides. Uma mistura de vanilina e acetaldeído em ácido clorídrico reage com THC formando cor púrpura-violeta. A adição de clorofórmio extrai o cromóforo, confirmando a reação. Utilizado em análises forenses de Cannabis. Referência: JACOBS, Alexander D.; STEINER, Robert R. Detection of the Duquenois–Levine chromophore in a marijuana sample. **Forensic science international**, v. 239, p. 1-5, 2014. Disponível em: Detection of the Duquenois–Levine chromophore in a marijuana sample - ScienceDirect Acesso em 27 fev. 2025.

26. Teste de Ehrlich: Reagente composto por p-dimetilaminobenzaldeído em ácido clorídrico e etanol que detecta indóis. Reage com LSD, psilocibina e outros compostos indólicos produzindo coloração púrpura-violeta. Importante em toxicologia forense e identificação de alucinógenos. Referência: O'NEAL, Carol L.; CROUCH, Dennis J.; FATAH, Alim A. Validation of twelve chemical spot tests for the detection of drugs of abuse. **Forensic Science International**, v. 109, n. 3, p. 189-201, 2000. Disponível em: Validation of twelve chemical spot tests for the detection of drugs of abuse - ScienceDirect. Acesso em 26 fev. 2025.
27. Testes Eletroquímicos: Utilizam princípios de transferência de elétrons e potenciais elétricos para detectar substâncias. Incluem voltametria cíclica, amperometria e potenciometria. Eletrodos modificados quimicamente aumentam seletividade para analitos específicos. Aplicados na detecção de metais, drogas de abuso, explosivos e poluentes. Referência: EL-RAHEEM, Hany Abd *et al.* Electrochemical methods for the detection of heavy metal ions: From sensors to biosensors. **Microchemical Journal**, p. 112086, 2024. Electrochemical methods for the detection of heavy metal ions: From sensors to biosensors - ScienceDirect Acesso em 6 mar. 2025.
28. Análise de Impressões Digitais com Ninidrina: A ninidrina (2,2-di-hidroxi-1,3-indandiona) reage com aminoácidos presentes em resíduos de impressões digitais, formando o complexo púrpura "Púrpura de Ruhemann". O processo envolve pulverização ou imersão do suporte, seguido de aquecimento para acelerar a reação. Essencial em ciências forenses para revelação de impressões latentes em papel e materiais porosos. Referência: LANGE, Erin; CARLYSLE-DAVIES, Felicity. Presumptive drug identification by ninhydrin fingerprint analysis. **Forensic Chemistry**, v. 40, p. 100597, 2024. Disponível em: Presumptive drug identification by ninhydrin fingerprint analysis - ScienceDirect Acesso em 26 fev. 2025.
29. Medição de pH e Potencial Redox: Utiliza eletrodos específicos para determinar acidez/alcalinidade (pH) e capacidade de ganhar/perder elétrons (ORP - Potencial de Oxirredução). Fundamentais para caracterização de solos, águas e análises ambientais, indicando biodisponibilidade de nutrientes, mobilidade de contaminantes e condições para processos biológicos. Referência: MATTILA, Tuomas J. Redox potential as a soil health indicator—how does it compare to microbial activity and soil structure?. **Plant and Soil**, v. 494, n. 1, p. 617-625, 2024. Disponível em: Redox potential as a soil health indicator – how does it compare to microbial activity and soil structure? | Plant and Soil. Acesso em 25 fev. 2025.

30. Teste de pH e solubilidade: Avalia comportamento de substâncias em diferentes condições de acidez e solventes. Em análise forense de drogas, ajuda a distinguir entre formas básicas (bases livres) e sais (cloridrato, sulfato). Em estudos ambientais, determina mobilidade e biodisponibilidade de contaminantes conforme condições do meio.

TÉCNICAS DE ANÁLISE ESTRUTURAL E MORFOLÓGICA

31. Análise Metalográfica: Estudo microscópico da estrutura dos metais e ligas após preparação cuidadosa (corte, embutimento, lixamento, polimento e ataque químico). Revela grãos, fases, inclusões e defeitos microestruturais, permitindo avaliar propriedades mecânicas, tratamentos térmicos, processos de fabricação e causas de falhas. Utiliza microscopia óptica e eletrônica com aumentos de 50-1000x ou mais. Referência: THOMPSON, Geoffrey Z. *et al.* Fracture mechanics-based quantitative matching of forensic evidence fragments. **arXiv**, 2021. Disponível em: [2106.04809] Fracture Mechanics-Based Quantitative Matching of Forensic Evidence Fragments. Acesso em 23 fev. 2025.
32. Difração de Raios-X (DRX): Baseia-se na difração de raios-X por planos cristalinos em ângulos específicos (Lei de Bragg). Gera difratogramas característicos que permitem identificação de fases cristalinas, determinação de estruturas, análise quantitativa de misturas e estudo de tensões residuais. Fundamental em mineralogia, ciência dos materiais, indústria farmacêutica e análise forense de solos e minerais. Referência: MOORE, Duane Milton; REYNOLDS, RC, Jr. **X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals**. 1989.
33. Análise Termogravimétrica (TGA): Monitora variações de massa de uma amostra em função da temperatura sob atmosfera controlada. Registra perdas de massa associadas à desidratação, decomposição, oxidação ou redução. Permite determinar teor de umidade, voláteis, carbono fixo e cinzas, estabilidade térmica e cinética de degradação. Essencial na caracterização de polímeros, materiais cerâmicos, catalisadores e em análises forenses de solos. Referência: CHAUHAN, Rohini *et al.* Thermogravimetric analysis and chemometric based methods for soil examination: Application to soil forensics. **Forensic Chemistry**, v. 17, p. 100191, 2020. Disponível em: Thermogravimetric analysis and chemometric based methods for soil examination: Application to soil forensics - ScienceDirect Acesso em: 23 fev. 2025.

TÉCNICAS DE ANÁLISE BIOLÓGICA E MOLECULAR

34. Análise de Microbioma do Solo: Estudo abrangente das comunidades microbianas do solo através de técnicas de sequenciamento de DNA (principalmente sequenciamento do gene 16S rRNA para bactérias e ITS para fungos). Revela diversidade, abundância e funcionalidade dos microrganismos, indicando qualidade do solo, ciclos biogeoquímicos e impactos de contaminantes ou práticas agrícolas. Referência: HERMANS, Syrie M. *et al.* Using soil bacterial communities to predict physico-chemical variables and soil quality. **Microbiome**, v. 8, n. 1, p. 79, 2020. Disponível em: [Using soil bacterial communities to predict physico-chemical variables and soil quality](#) Acesso em: 8 mar. 2025.
35. Bioindicadores de Contaminação: Utiliza organismos sensíveis a alterações ambientais como indicadores ecológicos. Inclui análise de comunidades de microfauna (protozoários, nematóides), mesofauna (ácaros, colêmbolos) e macroinvertebrados, assim como testes de toxicidade com minhocas, plantas e microcrustáceos. Fornece informações sobre biodisponibilidade de poluentes e efeitos ecológicos da contaminação. Referência: MAMABOLO, Emogine; PRYKE, James S.; GAIGHER, René. Soil macrofauna are important bioindicators of soil quality in agroecosystems under different management. **Ecological Indicators**, v. 167, p. 112723, 2024. Disponível em: [Soil macrofauna are important bioindicators of soil quality in agroecosystems under different management - ScienceDirect](#) Acesso em: 12 mar. 2025.
36. Análise de Enzimas do Solo: Quantifica atividades enzimáticas específicas (fosfatases, desidrogenases, urease, celulasas, etc.) que refletem processos metabólicos microbianos e ciclagem de nutrientes. Utiliza substratos específicos que, quando metabolizados, liberam produtos coloridos quantificáveis por espectrofotometria. Indicadores sensíveis de qualidade biológica do solo e impactos de contaminantes. Referência: ZHENG, Liugen *et al.* The inhibitory effect of cadmium and/or mercury on soil enzyme activity, basal respiration, and microbial community structure in coal mine–affected agricultural soil. **Annals of Microbiology**, v. 69, p. 849-859, 2019. Disponível em: [The inhibitory effect of cadmium and/or mercury on soil enzyme activity, basal respiration, and microbial community structure in coal mine–affected agricultural soil | Annals of Microbiology](#) Acesso em 14 mar. 2025.
37. Metagenômica (Análise do Microbioma do Pescado): Sequenciamento direto de todo DNA microbiano presente em amostras de pescado sem cultivo prévio. Identifica

- comunidades bacterianas associadas à deterioração, patógenos potenciais e indicadores de qualidade. Permite rastreabilidade de origem, detecção de adulterações e avaliação de métodos de conservação através da composição microbiológica. Referência: KIM, Bo-Kyeong; KIM, Sun Ae. Investigation of microbial ecology of salted seafood based on culture method and 16S rRNA metagenome sequencing. **LWT**, v. 187, p. 115275, 2023. Disponível em: Investigation of microbial ecology of salted seafood based on culture method and 16S rRNA metagenome sequencing - ScienceDirect Acesso em: 13 mar. 2025.
38. Perfil Metabólico do Solo: Caracteriza compostos de baixo peso molecular (metabólitos) produzidos por organismos do solo. Técnicas como LC-MS, GC-MS e NMR identificam aminoácidos, ácidos orgânicos, carboidratos e metabólitos secundários, gerando "impressões digitais" metabólicas do ecossistema solo. Indica rotas bioquímicas ativas, respostas a estresses e funções ecológicas da microbiota. Referência: SONG, Yang et al. Soil metabolomics: Deciphering underground metabolic webs in terrestrial ecosystems. **Eco-Environment & Health**, 2024. Disponível em: Soil metabolomics: Deciphering underground metabolic webs in terrestrial ecosystems - ScienceDirect Acesso em 13 mar. 2025.
39. Análise Elementar (CHN): Determina precisamente os teores de carbono, hidrogênio e nitrogênio em amostras orgânicas através de combustão completa em altas temperaturas (900-1200°C) e detecção dos produtos gasosos (CO₂, H₂O, N₂). Versões mais completas incluem oxigênio e enxofre (CHNS-O). Fundamental para caracterização de matéria orgânica do solo, avaliação de qualidade ambiental e forensic soil analysis. Referência: LINDGREN, F.T., STEVENS, G.R.; JENSEN, L.C. Elemental C, H and N microanalysis of crushed rock and soil samples. **Journal of the American Oil Chemist's Society**, v.49, p.208–214, 1972. Disponível em: Elemental C, H and N microanalysis of crushed rock and soil samples | Journal of the American Oil Chemists' Society. Acesso em 14 mar. 2025.