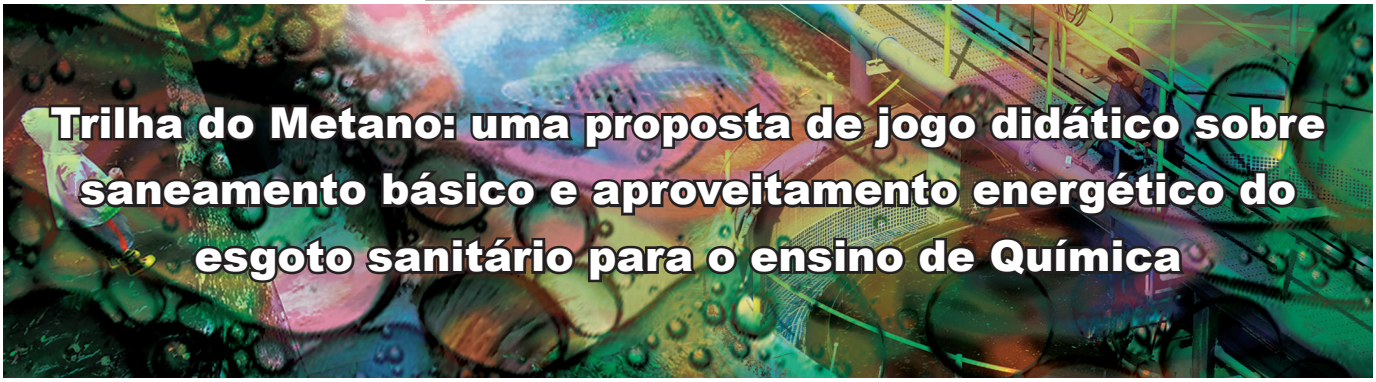
http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160291



Trilha do Metano: uma proposta de jogo didático sobre saneamento básico e aproveitamento energético do esgoto sanitário para o ensino de Química

Ewerton Nonnenmacher, Ana C. Lazaroto, Mayra Alonço, Claudia A. Fioresi e Letiére C. Soares

Neste artigo propomos o desenvolvimento de um jogo didático, do tipo trilha, sobre saneamento básico e aproveitamento energético do biogás, dividido em quatro etapas: 1) Esgoto sanitário: abordando conteúdos relacionados às características físico-químicas do esgoto sanitário; 2) Coleta e tratamento: perguntas relacionadas a coleta, tratamento e impactos ambientais do esgoto sanitário; 3) Rota metabólica: aborda reações químicas envolvidas no processo de digestão anaeróbia; 4) Aproveitamento energético: composição química do biogás e as possibilidades do seu aproveitamento como fonte de energia. Esta proposta aborda questões conceituais, sócio-ambientais e culturais e apresenta possibilidades para ser trabalhada em sala de aula envolvendo conteúdos de Química.

▶ biogás, ensino de química, esgoto sanitário ◀

Recebido em 13/06/2021, aceito em 08/01/2022

No ambiente escolar é fundamental a utilização de diferentes estratégias metodológicas que auxiliem no processo de ensino e aprendizagem e que estejam contextualizadas com o meio em que os estudantes estão inseridos. Dentre essas estratégias apresentamos o jogo didático como um importante recurso para ser utilizado em sala de aula. No entanto, definir o que é um jogo didático é uma tarefa difícil, pois refere-se a vários significados atrelados ao contexto. De modo geral, o jogo pode ser definido pelas regras que o caracterizam, objetivos utilizados e significados atribuídos de acordo com a cultura em questão (Soares, 2013).

Os jogos didáticos representam uma ferramenta importante no processo de ensino e aprendizagem, pois estimulam a cooperação e o pensamento crítico saudável dos participantes (Pontes *et al.*, 2020). Por manter um equilíbrio entre as funções lúdicas e educativas, o jogo didático é considerado uma atividade diferenciada com o intuito de aprender conteúdos e conceitos (Cunha, 2012).

Os jogos didáticos representam uma ferramenta importante no processo de ensino e aprendizagem, pois estimulam a cooperação e o pensamento crítico saudável dos participantes (Pontes *et al.,* 2020). Por manter um equilíbrio entre as funções lúdicas e educativas, o jogo didático é considerado uma atividade diferenciada com o intuito de aprender conteúdos e conceitos (Cunha, 2012).

A função lúdica está relacionada ao prazer e à diversão, enquanto a função educativa refere-se a qualquer elemento que acrescente saberes e conhecimentos. Kishimoto (1996) adverte: o equilíbrio entre as duas funções é o que caracteriza um jogo didático. Soares (2008) acrescenta que, se o jogo ou a atividade lúdica buscarem um local de descontração e prazer sem se preocupar com os resultados, o mesmo deve ser considerado somente um jogo. Para o caso contrário, se o foco principal for o desenvolvimento de habilidades conceituais, ele perde o sentido e passa ser considerado um material pedagógico.

Quando aplicado de forma adequada, o desafio colocado pelo jogo didático aguça a busca por conceitos, termos e definições, familiarizando os estudantes com os conteúdos a serem estudados. Dessa forma, os jogos didáticos se tornam motivadores na busca de soluções e estratégias (Borges *et al.*, 2016).

Para este estudo, escolhemos o jogo de trilha por representar um recurso complementar, facilitador e alternativo para o ensino de química, proporcionando melhor compreensão dos conteúdos e conceitos (Batista *et al.*, 2010). O

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons

jogo de trilha vem sendo utilizado em algumas propostas de ensino de química, por exemplo, para trabalhar os conteúdos de cinética química (Moura *et al*., 2012), estequiometria (Tonetto *et al.*, 2015), funções orgânicas (Borges *et al.*, 2016) e química inorgânica (Da Silva *et al.*, 2015). Além disso, o jogo de trilha permite a inserção de situações-problemas locais, provocando reflexões sobre o local em que os participantes vivem, gerando criticidade em relação aos problemas, consciência e sentimento de pertencimento (Neves e Oliveira, 2019).

Nesse sentido, esta proposta de jogo didático surge das experiências adquiridas ao cursar a disciplina de Estágio Curricular Supervisionado no Ensino Médio. Naquela oportunidade, o esgoto sanitário foi empregado como temática para desenvolver os conteúdos de cinética química e equilíbrio químico. Em paralelo à abordagem dos conteúdos, realizamos a construção de um modelo de biodigestor para demonstrar o poder calorífico do biogás.

Assim, a partir dessa experiência, emergiu a necessidade da construção de um jogo didático com o objetivo de contextualizar conteúdos de química ambiental, química orgânica, físico-química, microbiologia e bioquímica. A elaboração do jogo de trilha resultou em um trabalho de conclusão de curso embasado em uma revisão bibliográfica para complementar os aspectos relacionados ao jogo. Julgamos importante, coerente e relevante sua construção para que possa ser replicado, adaptado e desenvolvido por se tratar de uma ferramenta facilitadora para a inserção de temas nas aulas de Química. Assim, o desenvolvimento desse jogo didático permite trabalhar os temas de saneamento básico e aproveitamento energético do biogás gerado no tratamento do esgoto sanitário, relacionando-os ao ensino de Química e às questões socioambientais.

Elaboração e desenvolvimento do jogo

A *trilha do metano* possibilita trabalhar diferentes habilidades que são essenciais para a formação dos alunos, coloca o professor como mediador da aprendizagem e os alunos tornam-se sujeitos ativos dos processos de pesquisa, ensino e aprendizagem.

Esse jogo pode ser confeccionado da seguinte maneira: 1 - uma trilha composta por 16 casas numeradas, divididas em 4 cores; 2 - setenta e duas cartas perguntas, divididas em 4 cores; 3- um dado para definir a equipe que começa jogando; 4- as letras C, H e O representando os personagens de cada equipe; 5 - três fichas "recuperação" e três fichas "consulta".

A elaboração do jogo de trilha resultou em um trabalho de conclusão de curso embasado em uma revisão bibliográfica para complementar os aspectos relacionados ao jogo. Julgamos importante, coerente e relevante sua construção para que possa ser replicado, adaptado e desenvolvido por se tratar de uma ferramenta facilitadora para a inserção de temas nas aulas de Química.

A proposta de um jogo coletivo é importante para a formação dos alunos, pois possibilita o diálogo, reforça as interações interpessoais, e melhora o convívio em sala de aula e demais espaços escolares. Assim, para alcançar um bom desenvolvimento do jogo em sala de aula, é importante apresentar as regras do jogo de maneira simples e objetiva, uma vez que, de acordo com Soares (2008), regras simples contribuem para desenvolvimento do jogo e melhoram o ensino e aprendizagem dos conteúdos. Regras muito longas não são recomendadas por se tornarem cansativas. As regras devem ser bem explicadas ou as dúvidas geradas pelos jogadores podem atrasar a realização da atividade. É importante também que, antes de começar o jogo, as regras sejam entregues por escrito.

Quadro 1: Regras de desenvolvimento do jogo Trilha do Metano

1- Os participantes podem formar duas ou três equipes por tabuleiro;
2- Cada equipe elege um líder. O líder participará da definição dos personagens, ordem das jogadas, condução do personagem na trilha, leitura das perguntas e repasse das respostas;
3- Cada jogo terá um árbitro que irá verificar as respostas e repassar a ação das equipes;
4- Respostas corretas: o personagem avança uma casa e a pergunta é retirada do jogo.
5- Para respostas incorretas: 1ª etapa - permanece onde está; 2ª etapa - volta uma casa; 3ª etapa - volta duas casas; 4ª etapa - volta ao início da etapa.
6- Resposta incorreta: a pergunta é retirada do jogo e pode retornar caso acabem as fichas da respectiva etapa.
7- Ficha recuperação: cada equipe recebe uma ficha. Poderá ser utilizada 1 vez no jogo quando errar uma resposta ou substituindo-a por outra ficha. No caso de errar a nova oportunidade, a equipe ficará de fora da próxima rodada.
8- Ficha consulta: pode ser utilizada uma vez no jogo. Oportuniza a consulta em material de apoio (caderno e livro). No caso de errar a resposta retorna ao início da etapa.
9- A equipe que atingir o objetivo será a vencedora. As demais continuarão jogando até definir a segunda e terceira colocadas.

O tabuleiro (Figura 1) é composto por ilustrações que representam as etapas de geração, coleta, tratamento do esgoto sanitário e posterior liberação do efluente tratado. De acordo com Silva *et al.* (2017), a estética da atividade lúdica deve ser considerada na elaboração da proposta. Dessa forma, acreditamos que as características visuais do tabuleiro tenham um papel motivacional para os alunos e sejam importantes para uma melhor aceitação da atividade.

As cartas elaboradas para esse jogo são de caráter múltipla escolha, contendo três alternativas por questão. No entanto, o material pode ser adaptado de acordo com as estratégias e objetivos elencados pelo professor. No Anexo 1,

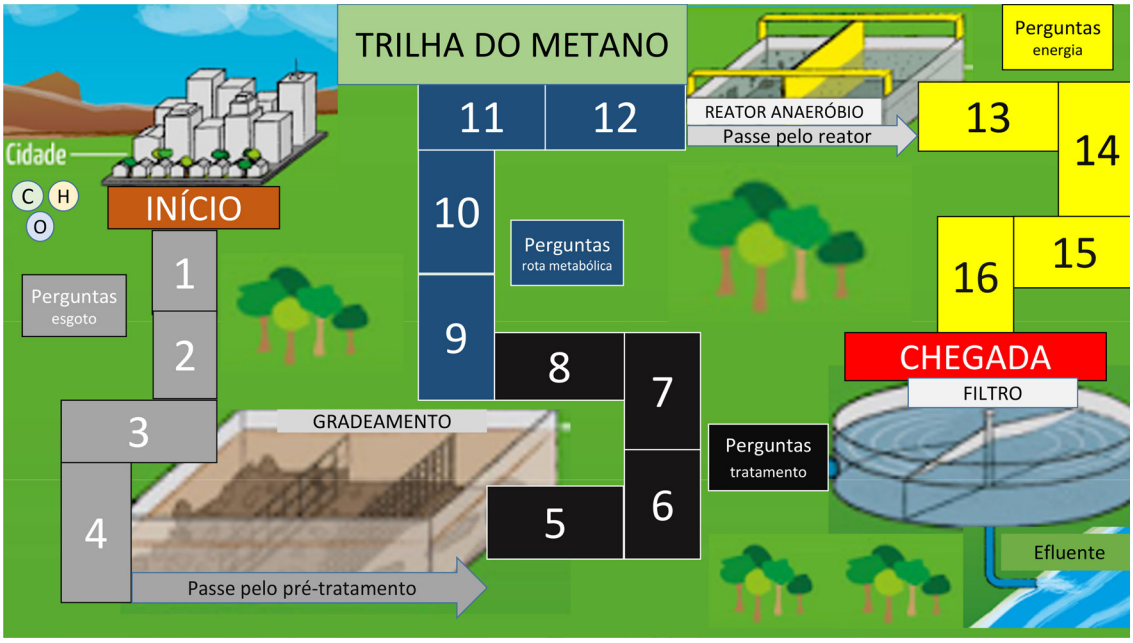


Figura 1: Tabuleiro da Trilha do Metano (Adaptado de SABESP, 2021)

apresentamos algumas cartas que podem ajudar o professor a nortear a confecção de novas questões. Acreditamos que, para o bom desenvolvimento da trilha do metano, o jogo deve ser composto por 72 cartas.

As cartas-perguntas da primeira e segunda parte do tabuleiro estão fundamentadas na coleta, tratamento e características físico-químicas do esgoto sanitário, e são consideradas as questões mais fáceis do jogo. A seguir, em termos de exemplificação, apresentamos algumas cartas-perguntas e as discussões dos conceitos apresentados.

O esgoto sanitário, classificado como todo efluente gerado nas diversas atividades domésticas, possui 98-99,9% de água, 2-0,1% de sólidos, cor cinza e aspecto turvo (SANEPAR, 2015). A presença de materiais que alteram suas propriedades físico-químicas e biológicas são indesejáveis, e a concentração desses constituintes perpassa por aspectos sociais, culturais e econômicos da população (Van Haandel e Lettinga, 1994). Vejamos a seguinte pergunta:

"Considere a situação em que a rede coletora de esgoto está enfrentando problemas com resíduos sólidos que ocasionam entupimento das tubulações. Em sua opinião, de quem seria a responsabilidade do esgoto que você gera?

A- ( ) As companhias de saneamento.
B- (X) Quem gera é responsável.
C- ( ) Os funcionários das empresas de saneamento."

A questão permite ao aluno refletir sobre suas responsabilidades durante o descarte dos diferentes tipos de resíduos domésticos, incluindo repensar seus hábitos de consumo. A responsabilidade das empresas de saneamento e seus funcionários está em garantir que o efluente tratado e lançado nos corpos receptores atenda às legislações ambientais vigentes no Brasil.

Para evitar que materiais grosseiros, inertes ou pouco degradáveis biologicamente danifiquem os equipamentos das estações de tratamento de esgoto (ETEs), o efluente passa por um tratamento preliminar, o gradeamento. Em seguida, o efluente é conduzido para o tratamento primário, mecanismo físico para remoção de materiais flotáveis e sedimentáveis. Ao chegar no tratamento secundário, a matéria orgânica é removida por meio de processos biológicos e/ou químicos, gerando como subprodutos o lodo, a escuma e o biogás. Por fim, no tratamento terciário, ocorre a remoção de sólidos suspensos remanescentes de poluentes específicos (Koga, 2016). A seguir apresentamos o exemplo de outra questão:

As cartas-perguntas da primeira e segunda parte do tabuleiro estão fundamentadas na coleta, tratamento e características físico-químicas do esgoto sanitário, e são consideradas as questões mais fáceis do jogo.

"O descarte do papel higiênico é colocado em questão quando refletimos acerca do destino adequado para esses resíduos. Sendo assim, posso descartar papel higiênico no vaso sanitário?

A- ( ) Sim, pois não pode ser reciclado.
B- ( ) Sim, mas apenas papel higiênico usado.
C- (X) Não, no Brasil são tratados separadamente."

A questão permite analisar e trabalhar com os alunos os problemas gerados a partir do descarte inadequado de materiais sintéticos ou processados na rede de coleta de esgoto. Embora alguns materiais, como papel higiênico e fraldas, estejam contaminados com excretas humanas, esses resíduos podem causar o entupimento da rede coletora e abrasão em rotores e sistemas de bombeamento.

O reator anaeróbio, onde ocorre o tratamento secundário, é um sistema de baixo consumo de energia, baixa produção

de lodo e geração de metano (SANEPAR, 2019). Cerca de 50-80% da matéria orgânica que entra no digestor anaeróbio é convertida em biogás, o qual pode ser aproveitado como fonte de energia (Lobato, 2011). Vejamos a seguinte questão: "No Brasil, os reatores anaeróbios ganharam destaque em diversos setores, em especial no tratamento de esgoto, tornando-se o sistema mais utilizado (Wippel, 2012). Por que se utiliza o tratamento anaeróbio no Brasil?
A- ( ) Porque é o único que existe.
B- (X) Condições climáticas, baixos custos de implantação e operação.
C- ( ) Oferece o melhor tratamento."

Ao responder à questão, os alunos devem considerar que os reatores anaeróbios têm seu funcionamento afetado por questões ambientais, sendo a temperatura a principal delas (Van Haandel e Lettinga, 1994). Para o tratamento do esgoto interessa a digestão mesofílica, que ocorre abaixo de 45°C, sendo a faixa entre 30-35°C a ideal. Em temperaturas mais baixas, a digestão anaeróbia apresenta menores taxas de decomposição da matéria orgânica.

As questões relacionadas à terceira parte do tabuleiro estão fundamentadas na rota metabólica da digestão anaeróbia e na composição do biogás. São consideradas as questões mais difíceis do jogo, necessitando de um embasamento teórico mais aprofundado para respondê-las.

A digestão anaeróbia é considerada um ecossistema balanceado, no qual diversos grupos de microrganismos possuem funções específicas e diferem pelo comportamento fisiológico, operando em quatro estágios sequenciais: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (Gueri *et al.* 2017). O principal produto de interesse energético da digestão anaeróbia é o biogás, composto por metano (50-70%), dióxido de carbono (30-45%), sulfeto de hidrogênio e oxigênio (0-3%) (ABIOGÁS, 2020). Vejamos a seguinte carta pergunta: "Quando a matéria orgânica é depositada no reator anaeróbio, uma série de microrganismos atuam na sua decomposição. Nesse processo, qual é a sequência das etapas da digestão anaeróbia?
A- ( ) Acidogênese, acetogênese, hidrólise e metanogênese.
B- (X) Hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese.
C- ( ) Acetogênese, acidogênese, hidrólise e metanogênese."

Ao responder essa questão, o aluno deve considerar que a rota metabólica para degradação da matéria orgânica consiste em uma sequência de reações para a fragmentação de macromoléculas em substratos adequados, os quais são convertidos, na última etapa, em metano. Importante observar que os gases que compõem o biogás são formados nas diferentes etapas da digestão anaeróbia.

Na etapa da hidrólise, proteínas, carboidratos e lipídeos são degradados, respectivamente, em aminoácidos, açúcares e ácidos graxos, que podem atravessar as paredes celulares das bactérias fermentativas (Arruda, 2020). Na acidogênese, os ácidos graxos, açúcares e aminoácidos são convertidos em ácidos orgânicos (acético, butírico e propiônico) e alcoóis pela fermentação. A formação de amônia, ácido sulfídrico e ácidos graxos voláteis ocorre nessa etapa, e é a principal causa de mau odor nas ETEs (Lobato, 2011; SANEPAR, 2015).

De acordo com Chernicharo (2007), algumas reações que ocorrem na acidogênese são apresentadas na Figura 2.

Vejamos a seguinte questão:
"Ácidos orgânicos são moléculas que podem ser desprotonadas com certa facilidade, formando bases estabilizadas pela deslocalização de elétrons (carboxilatos). Qual é a estrutura do propionato?
A- ( ) CH_3CH_2OH
B- (X) $CH_3CH_2COO^-$
C- ( ) $C_6H_{12}O_6$"

Para as questões elaboradas a partir das equações químicas envolvidas nas quatro etapas da digestão anaeróbia, podemos explorar com os alunos o reconhecimento de funções orgânicas, fórmulas moleculares e relações de nomenclatura de cadeias carbônicas.

As questões relacionadas à terceira parte do tabuleiro estão fundamentadas na rota metabólica da digestão anaeróbia e na composição do biogás. São consideradas as questões mais difíceis do jogo, necessitando de um embasamento teórico mais aprofundado para respondê-las.

Na acetogênese, as bactérias convertem os compostos orgânicos em substrato adequado para as bactérias metanogênicas. Por exemplo, a oxidação de propionato e butirato gerando acetato, hidrogênio e dióxido de carbono (Lobato, 2011). As principais reações de formação do acetato que ocorrem na acetogênese são demonstradas na Figura 3 (Chernicharo, 2007).

A metanogênese é caracterizada pela conversão do acetato e hidrogênio em metano e CO_2. Os microrganismos responsáveis por essa etapa são classificados como grupo *Archaea*. As principais espécies presentes são as metanogênicas acetoclásticas, produzindo metano a partir do acetato, e as metanogênicas hidrogenotróficas, que produzem metano

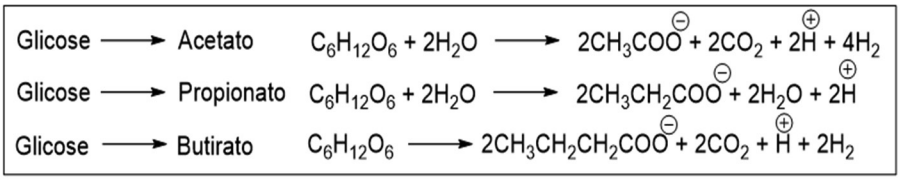


Figura 2 - Reações da acidogênese

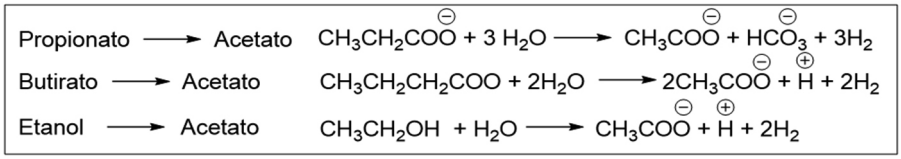


Figura 3: Reações da acetogênese

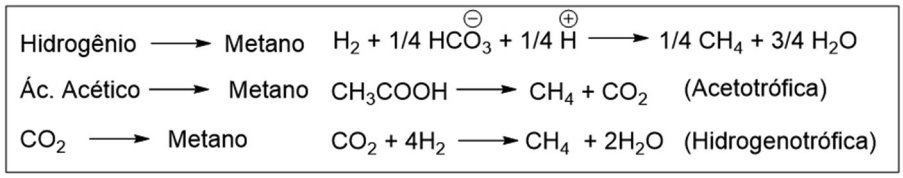


Figura 4 - Reações da metanogênese

a partir do hidrogênio e gás carbônico (Lobato, 2011). As reações da metanogênese são demonstradas na Figura 4 (Chernicharo, 2007).

Vejamos a seguinte pergunta:

"O conjunto de reações químicas mediadas por microrganismos especializados em degradar a matéria orgânica é denominado rota metabólica. No tratamento do esgoto sanitário, a que se refere a rota metabólica?

A- ( ) Tratamento aeróbio de esgoto.

B- ( ) Tratamento físico-químico de esgoto.

C- (X) Digestão anaeróbia."

O objetivo dessa questão é que o aluno considere que a digestão anaeróbia está presente no tratamento dos mais diversos efluentes que apresentem elevada concentração de matéria orgânica. Para além do tratamento do esgoto sanitário, a digestão anaeróbia é utilizada para produção de biogás a partir de dejetos gerados em granjas de criação de suínos, por exemplo.

As cartas-perguntas referentes à quarta fase do tabuleiro estão fundamentadas na revisão bibliográfica sobre o aproveitamento energético do biogás. O nível de dificuldade dessas questões é intermediário, considerando que o aproveitamento energético do biogás tem se difundido nos últimos anos.

A utilização do biogás para secagem térmica do lodo de esgoto é proposta por Wippel (2012). De acordo com o autor, é possível reduzir o tempo de secagem, o volume de lodo seco, custos com produtos químicos, transporte e disposição final. Barés (2010) afirma ainda que o tratamento térmico do lodo de esgoto, realizado com o aproveitamento do biogás, atende os requisitos legais para aplicação na agricultura.

Na mesma linha, Shirado (2014) identificou que o biogás é capaz de suprir 66% da demanda energética térmica para secagem do lodo ou 88% do consumo anual de energia elétrica da ETE. Ainda segundo esse autor, se o lodo e a escuma forem direcionados para a geração de energia elétrica, um excedente de 21% seria produzido. Vejamos a seguinte questão:

"Atualmente, o biogás gerado no tratamento de esgoto é queimado para evitar a emissão de gases tóxicos. Baseado no potencial calorífico do biogás, uma ETE tem condições de se tornar autossuficiente na produção de energia elétrica?

A- ( ) Não.

B- (X) Sim, se combinar o aproveitamento dos coprodutos.

C- ( ) Sim, apenas com o biogás."

A revisão sobre as formas de aproveitamento energético do biogás permite trabalhar com alunos a utilização de outros coprodutos como fonte de energia. Apenas o biogás produzido nas ETEs não é suficiente para suprir todo gasto energético de uma estação. No entanto, ao utilizar a escuma e o lodo seco como fonte energética as ETEs podem se tornar autossuficientes.

A revisão sobre as formas de aproveitamento energético do biogás permite trabalhar com alunos a utilização de outros coprodutos como fonte de energia. Apenas o biogás produzido nas ETEs não é suficiente para suprir todo gasto energético de uma estação. No entanto, ao utilizar a escuma e o lodo seco como fonte energética as ETEs podem se tornar autossuficientes. Porém, devemos considerar que esses são estudos teóricos: diversos fatores ambientais podem afetar a produção de biogás e, consequentemente, a obtenção dos coprodutos.

Michelon (2019) afirma ainda que o biogás pode ser utilizado como combustível para automóveis, indústrias e residências. Para além da questão energética, o aproveitamento do metano gerado nas ETEs está relacionado às questões ambientais. O metano apresenta um potencial de aquecimento global 23 vezes maior comparado ao dióxido de carbono. Vejamos a seguinte pergunta:

"A queima do metano, componente principal do biogás, é considerado um procedimento ambientalmente correto. Por que o biogás não pode ser liberado livremente para a natureza?

A- (X) Contribui muito para o aquecimento global.

B- ( ) Para aproveitar a energia renovável.

C- ( ) Porque os queimadores precisam funcionar continuamente."

A questão permite ao aluno ampliar as discussões sobre a demanda de recursos energéticos. A destinação do biogás impacta diretamente nas questões ambientais, visto que o acúmulo de metano na atmosfera contribui de forma significativa para as alterações climáticas ao redor do mundo.

Mehler (2011) menciona outros problemas ambientais/sociais gerados pela eliminação do biogás gerado nas ETEs ao avaliar a dispersão atmosférica do sulfeto de hidrogênio. Vejamos a seguinte pergunta:

"Alguns compostos gerados em meio anaeróbio resultam em odores desagradáveis, que são perceptíveis mesmo em baixas concentrações. O odor típico nas estações de tratamento deve-se à presença de qual destas substâncias?

A- (X) Sulfeto de hidrogênio (H_2S).

B- ( ) Metano (CH_4).

C- ( ) Dióxido de carbono (CO_2)."

Ao considerar as propriedades físico-químicas dos três gases em questão, apenas o sulfeto de hidrogênio seria responsável pelo odor nas ETEs, tendo em vista que o gás metano e o dióxido de carbono são inodoros. O ponto interessante que pode ser destacado aos alunos é que, embora o H_2S seja um componente tóxico do biogás, ele não inviabiliza a utilização do mesmo como fonte de energia. No entanto, é necessário realizar uma filtração do H_2S a fim de reduzir a emissão de gases de enxofre durante a queima do biogás e para evitar a corrosão de tubulações e equipamentos.

A possibilidade de um jogo para a temática deste estudo evidencia um caráter pertinente em relação às demandas sociais e, também, em relação ao Ensino de Química. Além disso, é possível tornar as aulas mais atrativas e facilitar a apropriação de conteúdos escolares por parte dos alunos, de modo que se sintam estimulados e motivados no processo de ensino e aprendizagem, bem como auxiliar o professor com atividades alternativas para a elaboração e planejamento da prática pedagógica.

Algumas possíveis implicações sobre a aplicação do jogo

A possibilidade de um jogo para a temática deste estudo evidencia um caráter pertinente em relação às demandas sociais e, também, em relação ao Ensino de Química. Além disso, é possível tornar as aulas mais atrativas e facilitar a apropriação de conteúdos escolares por parte dos alunos, de modo que se sintam estimulados e motivados no processo de ensino e aprendizagem, bem como auxiliar o professor com atividades alternativas para a elaboração e planejamento da prática pedagógica. Destacamos, assim, a importância do papel do professor na mediação do jogo em sala de aula para seu bom aproveitamento.

Sobre esse aspecto, Cunha (2012) levanta alguns tópicos relevantes que merecem atenção: motivação e incentivo para a ação do estudante; atividades que podem ser desenvolvidas antes e depois da aplicação do jogo; clareza quanto às regras que compõem o jogo; estímulo à cooperação; correção dos erros de maneira adequada, por meio de contextualizações que levem o estudante a chegar à resposta correta.

O professor pode mediar a construção de esquemas, tomada de decisão e atividade mental sobre os conceitos, e estabelecer com os estudantes a distribuição de papéis a serem desenvolvidos durante o jogo. Também nos domínios que cabem ao professor, o jogo pode ser um instrumento que favorece as relações de conceitos que podem ser explorados, e assim, estabelecer o jogo como uma atividade complementar com alto potencial para aprendizagem e recurso para o ensino (Cunha, 2012).

Além disso, o professor tem autonomia para selecionar/elaborar as perguntas que achar pertinentes para cada etapa da trilha e que contemplem seu planejamento. Recomendamos, também, que as cartas que não forem respondidas de forma correta sejam trabalhadas ao final do jogo para sanar possíveis dúvidas da turma em relação a determinadas questões. Dessa forma, os alunos podem ser orientados a separarem as cartas que não conseguirem responder e entregá-las ao final do jogo para o professor.

É preciso ter um olhar atento para a participação dos alunos no jogo. Segundo Soares (2008), esta deve ser de livre escolha, do contrário será uma atividade forçada. Além disso, a atenção do professor no momento do jogo é fundamental, observando a participação, a organização e se os alunos "estão interagindo entre si para responderem às perguntas, se estão discutindo sobre o jogo, se estão interessados em vencer o desafio, se estão mantendo a ordem, etc." (Oliveira *et al.*, 2015).

Salientamos também que, por conta deste tema ser pouco explorado, e muitas vezes desconhecido por grande parte dos alunos, é importante que os conceitos relacionados ao tema aqui proposto sejam trabalhados antes do desenvolvimento do jogo.

Dessa forma, acreditamos que a utilização deste jogo didático em sala de aula possa instrumentalizar os estudantes em suas práticas diárias, desenvolvendo seu senso crítico em relação ao tema na sociedade, além de estabelecer relações com a química envolvida nesses processos.

Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver uma proposta de um jogo didático relacionando os temas de saneamento básico e aproveitamento energético do biogás gerado no tratamento do esgoto sanitário com o ensino de química. As perguntas elaboradas para o jogo baseiam-se em uma revisão bibliográfica realizada sobre as características físico-químicas do esgoto doméstico, coleta, etapas do tratamento do esgoto, rota metabólica da digestão anaeróbia, reações químicas e as diversas formas de aproveitar o poder calorífico do biogás. A proposta de jogo didático desenvolvido pode

ser elaborada pelo professor utilizando materiais simples, e apresenta-se como uma atividade contextualizada que permite trabalhar os conteúdos de química ambiental, química orgânica, cinética química, físico-química e bioquímica.

O jogo didático apresentado tem grande importância para aspectos cognitivos, para apropriação do conhecimento, reforçando o que os alunos sabem a respeito do tema, permite desenvolver competências relacionadas ao trabalho em equipe, além de estimular a capacidade de comunicação, coletividade e as relações interpessoais. A proposta do jogo se diferencia à medida que o estudante se apropria do conhecimento de modo lúdico e prazeroso, podendo apresentar resultados eficazes no processo de ensino e aprendizagem.

Ewerton Nonnenmacher (ewertonn@sanepar.com.br), licenciado em Química pela Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS). Realeza, PR – BR. **Ana Cláudia Lazaroto** (anaclazaroto@gmail.com), licenciada em Química pela Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS). Realeza, PR – BR. **Mayra Alonço** (mayraa.alonso@gmail.com), aluna de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, PR – BR. **Claudia Almeida Fioresi** (claudia.fioresi@uffs.edu.br), doutora pesquisadora da Universidade Federal da Fronteira Sul. Realeza, PR – BR. **Letiére Cabreira Soares** (letiere.soares@uffs.edu.br), doutor pesquisador da Universidade Federal da Fronteira Sul. Realeza, PR – BR.

Referências

ABIOGAS. *Associação Brasileira de Biogás*, 2020. Disponível em: https://abiogas.org.br/, acesso em fev. 2021.

ARRUDA, H. J. *Avaliação da viabilidade técnica e econômica da produção de biogás a partir de resíduos do processamento industrial de vegetais*. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2020.

BARÉS, M. E. *Digestão e higienização de lodo de estação de tratamento de esgotos através do processo bifásico com pré-tratamento térmico*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

BATISTA, M. B.; LORENZO, J. G. F. e SANTOS, M. L. B. A utilização do jogo trilha química como ferramenta lúdica para o ensino de química orgânica. *Congresso Nacional de Educação e Prática Interdisciplinares*, 2010. Disponível em: http:/connepi.ifal.edu.br/ocs/index.php/connepi/CONNEPI2010/paper/viewFile/171/163, acesso em mai. 2021.

BORGES, E. E.; ALMEIDA, M. M. B.; LIMA, I. B. e SOUSA, P. H. M. Trilha das funções orgânicas: um jogo didático para o ensino de química. *Conexões Ciências e Tecnologia*, v. 10, p. 133-140, 2016.

CHERNICHARO, C. A. L. *Reatores anaeróbios.* 2ª. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental / Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

CUNHA, M. B. Jogos no ensino de química: considerações teóricas para sua utilização em sala de aula. *Química Nova na Escola*, v. 34, p. 92-98, 2012.

DA SILVA, B.; CORDEIRO, M. R. e KIILL, K. B. Jogo didático investigativo: Uma ferramenta para o ensino de química inorgânica. *Química Nova na Escola*, v. 37, p. 27-34, 2015.

GUERI, M. D.; SOUZA, S. N. M. e KUCZMAN, O. Parâmetros operacionais do processo de digestão anaeróbia de resíduos alimentares: uma revisão. *BIOFIX Scientific Journal*, v. 3, n. 1, p. 17-25, 2017.

HAANDEL, A. C. V. e LETTINGA, G. *Tratamento anaeróbio de esgotos*: Um manual para regiões de clima quente. Campina Grande: Epgraf, 1994.

KISHIMOTO, T. M; *Jogo, brinquedo, brincadeira e a educação*. São Paulo: Cortês, 1996.

KOGA, P. *Geração de energia renovável a partir dos subprodutos de uma estação de tratamento anaeróbio de esgoto*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

LOBATO, L. C. S. *Aproveitamento energético do biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2011.

MEHLER, V. *Caracterização da população do entorno da Estação de Tratamento de Esgoto Santa Quitéria, a interface com a valorização ambiental e simulação da dispersão atmosférica*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

MICHELON, L. K. *Avaliação da produção de biogás em um reator anaeróbio híbrido (UAHB) tratando esgoto sanitário sintético*. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

PONTES, A. T. A.; SOUSA, C. C.; OLIVEIRA, G. S.; COSTA, G. R.; SOARES, N. R. M. e MARTELL, D. R. D. Jogos didáticos como recurso de fixação de conteúdos de química na educação superior. *Revista Arquivos Científicos*, v. 3, p. 51-60, 2020.

MOURA, J. A.; SILVA, T. P. e SOUSA, C. A. B. A utilização do jogo trilha química como ferramenta lúdica para o ensino de cinética química. Encontro Nacional de Educação, Ciência e Tecnologia, 2012. *Anais...* Disponível em: http://editorarealize.com.br/editora/anais/enect/2012/Comunicacao_62_2.pdf, acesso em mai. 2021.

NEVES JUNIOR, O. e OLIVEIRA, A. F. Trilha química: limites e potencialidades de um jogo para o ensino contextualizado de Química. Congresso Nacional de Educação, 2019. *Anais...* Disponível em: http://editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2019/TRABALHO_EV127_MD1_SA16_ID10710_14082019171146.pdf , acesso em jun. 2021.

OLIVEIRA, J. S.; SOARES, M. H. F. B. e VAZ, W. F. Banco químico: um jogo de tabuleiro, cartas, dados, compras e vendas para o ensino do conceito de soluções. *Química Nova na Escola*, v. 37, n. 4, p. 285-293, 2015.

SANEPAR. *Tratando o esgoto*: ambiente legal. Curitiba: Sanepar, 2015.

SHIRADO, J. *Análise dos fluxos de materiais e de energia como ferramenta de gestão para uma estação de tratamento anaeróbio de esgoto doméstico*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

SABESP. *Tratamento de esgotos*. Disponível em: http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=49 , acesso em abr. 2021.

SOARES, M. H. F. B. *Jogos para o ensino de química*: teoria, métodos e aplicações. Guarapari: Editora Libris, 2008.

SOARES, M. H. F. B. Jogos e atividades lúdicas no ensino de química. *Revista Debates em Ensino de Química,* v. 2, p. 5-13, 2016.

TONETTO, R. T.; FASCIN, S. V.; LIMA, M. C. e MICHELS, M. L. Trilha Estequiométrica: uma proposta lúdica para auxiliar

o ensino de estequiometria. *Revista Cadernos Acadêmicos*, v. 7, p. 45-54, 2015.

WIPPEL, S. *Avaliação técnica e econômica de utilização de biogás gerado em ETE Atuba Sul para secagem térmica e higienização do lodo*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

Abstract: *Methane's Trail: a didactic game proposal about basic sanitation and energetic use of sanitary sewage for Chemistry teaching.* In this article we propose the development of a trail-type educational game on basic sanitation and biogas energy use, divided into four steps: 1) Sewage: covers contents related to the sanitary sewage physical-chemical characteristics; 2) Collection and treatment: environmental impacts caused by sewage treatment; 3) Metabolic route: chemical reaction involved in the anaerobic digestion process; 4) Energy use: biogas chemical composition and the possibilities of its use as an energy source. The proposal addresses conceptual, socio-environmental and cultural issues and presents possibilities to be worked on in the classroom involving chemistry contents.
Keywords: biogas, chemistry teaching, sanitary sewage.

Anexo 1: Questões elaboradas para o jogo Trilha do metano no formato de cartas.

Considerando a situação em que a rede de esgoto está enfrentando problemas com resíduos sólidos que ocasionam entupimento das tubulações. Em sua opinião, de quem é o responsável pelo esgoto que você gera? A-( ) As companhias de saneamento. B-(X) Quem gera é responsável. C-( ) Os funcionários das empresas de saneamento.	O esgoto sanitário é constituído por 98-99% de água (SANEPAR, 2015). Com base nesta afirmação, é possível ligar as calhas de chuva da minha residência na rede coletora de esgoto? A-( ) Sim, é apenas água. B-(X) Não, no Brasil os sistemas são projetados separadamente. C-( ) Sim, Reduz custos.	O descarte do papel higiênico é colocado em questão quando refletimos acerca do destino adequado para estes resíduos. Sendo assim, posso descartar papel higiênico no vaso sanitário? A-( ) Sim, pois não pode ser reciclado. B-( ) Sim, mas apenas papel higiênico usado. C-(X) Não, no Brasil são tratados separadamente
As características físico-químicas do esgoto sanitário indicam que o mesmo apresenta uma faixa de 2 -0,1% de materiais sólidos. Nesse contexto, posso descartar polímero sintético junto ao esgoto uma vez que este apresenta uma carga de material sólidos? A-( ) Apenas fraldas usadas. B-( ) Sim, se estiver sujo. C-(X) Não, necessita de um descarte adequado.	O início da degradação da matéria orgânica se dá por sequências reacionais, nas quais ocorrem as fragmentações de diversas macromoléculas. Quais compostos orgânicos presentes no esgoto serão degradados respectivamente em aminoácidos, açúcares e ácidos graxos? A-( ) Material particulado, coloidal e dissolvidos. B-( ) Papel, polímero sintético e tecidos; C-(X) Proteínas, carboidratos e lipídeos.	A geração do esgoto sanitário é responsabilidade de cada indivíduo. No entanto, o tratamento do esgoto e a liberação do efluente é responsabilidade de quem? A-(X) Companhias, prefeituras e estados. B-( ) Onde eu moro não tem tratamento; portanto, ninguém. C-( ) Empresas que trabalham com reciclagem.
O tratamento de esgoto é um procedimento de saneamento básico que visa reduzir a carga orgânica do efluente. De que forma esse processo pode ser feito? A-(X) Pela decomposição da matéria orgânica por bactérias anaeróbias. B-( ) Pela decomposição da matéria orgânica por bactérias aeróbias. C-( ) Pela decomposição da matéria orgânica na presença de oxigênio.	Uma das formas de acelerar a decomposição da matéria orgânica é por meio da digestão do efluente em reatores anaeróbios. O que é reator anaeróbio? A-(X) Estrutura onde ocorre a digestão da matéria orgânica na ausência de oxigênio. B-( ) Estrutura onde ocorre a digestão da matéria orgânica na presença de oxigênio. C-( ) Estrutura onde ocorre digestão da matéria orgânica pela adição de produtos químicos.	A fim de garantir que os equipamentos das estações de tratamento de esgoto não sejam danificados, o efluente passa por um processo preliminar. O que é esse processo preliminar? A-( ) É a digestão na ausência de oxigênio. B-(X) É um gradeamento físico para reter materiais grosseiros. C-( ) É a produção de biogás.
A ausência do tratamento de esgoto pode acarretar diversos problemas sociais, bem como elevar os gastos do sistema de saúde pública. Quais problemas a falta de tratamento do esgoto pode resultar? A-( ) Falta de energia elétrica e biogás. B-(X) Contaminação do solo e da água. C-( ) Nenhum, pois pode ser substituído pela fossa séptica que elimina qualquer problema.	No Brasil, os reatores anaeróbios ganharam destaque em diversos setores, em especial no tratamento de esgoto, tornando-se o sistema mais utilizado (Wippel, 2012). Por que utiliza-se o tratamento anaeróbio no Brasil? A-( ) Porque é o único que existe. B-(X) Condições climáticas, baixos custos de implantação e operação. C-( ) Oferece o melhor tratamento possível	Segundo Van Haandel e Lettinga (1994) os reatores anaeróbios têm seu funcionamento afetado por questões ambientais, sendo a temperatura a principal delas. Sendo assim, qual a temperatura ideal de operação de reatores anaeróbios ? A-( ) Acima de 40°C. B-( ) Abaixo de 20°C. C-(X) Entre 20 e 40°C.

Ácidos orgânicos são moléculas que podem ser desprotonadas com certa facilidade, formando bases estabilizadas pela deslocalização de elétrons (carboxilatos). Qual é a estrutura do propionato? A-( ) CH_3CH_2OH B-(X) $CH_3CH_2COO^-$ C-( ) $C_6H_{12}O_6$	Quando a matéria orgânica é depositada no reator anaeróbio, uma série de microrganismos atuam na sua decomposição. Nesse sentido, qual é a sequência das etapas da digestão anaeróbia? A-( ) Acidogênese, acetogênese, hidrólise e metanogênese. B-(X) Hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. C-( ) Acetogênese, acidogênese, hidrólise e metanogênese	O conjunto de reações químicas mediadas por microrganismos especializados em degradar a matéria orgânica é denominado rota metabólica. No tratamento do esgoto sanitário, a que se refere a rota metabólica? A-( ) Tratamento aeróbio de esgoto. B-( ) Tratamento físico-químico de esgoto. C-(X) Digestão anaeróbia.
Para além das questões energéticas, o aproveitamento do biogás perpassa pelas questões ambientais uma vez que o metano e o dióxido de carbono são gases do efeito estufa. Qual é a fórmula molecular do dióxido de carbono? A-( ) CH_4 B-( ) H_2O C-(X) CO_2	Na acidogênese, os ácidos graxos, açúcares e aminoácidos são convertidos em ácidos orgânicos e alcoóis. Nessa etapa são formados alguns gases responsáveis pelo mau cheiro do gás. Qual é a fórmula do sulfeto de hidrogênio? A-(X) H_2S B-( ) CH_4 C-( ) H_2	Proteínas, carboidratos e lipídeos são macromoléculas degradadas na etapa da hidrólise. Nesse processo os carboidratos são quebrados em açúcares, entre eles, a glicose. Qual é a fórmula da glicose? A-( ) $CH_3CH_2COO^-$ B-( ) CH_3CH_2OH C-(X) $C_6H_{12}O_6$

Atualmente, o biogás gerado nas ETEs é queimado para evitar a elevada emissão de metano. De quais formas a literatura sugere o aproveitamento energético do biogás? A-( ) Injetando em reatores para aeração. B-( ) Utilizar em queimadores livres para diminuir o mau cheiro. C-(X) Utilizado para gerar energia elétrica ou térmica para secagem de lodo.	Atualmente, o biogás gerado no tratamento de esgoto é queimado para evitar a emissão de gases tóxicos. Baseado no potencial calorífico do biogás, uma ETE tem condições de se tornar autossuficiente na produção de energia elétrica? A-( ) Não. B-(X) Sim, se combinar o aproveitamento dos coprodutos. C-( ) Sim, apenas com o biogás.	Alguns compostos gerados em meio anaeróbio resultam em odores desagradáveis, que são perceptíveis mesmo em baixas concentrações. Esse odor típico nas estações de tratamento de esgoto deve-se à presença de qual destas substâncias? A-(X) Sulfeto de hidrogênio (H_2S). B-( ) Metano (CH_4). C-( ) Dióxido de carbono (CO_2).
O metano é um dos gases que mais contribui para o efeito estufa, e é um dos constituintes mais abundantes no biogás. Qual a porcentagem média de metano no biogás? A-( ) 10 a 30 %. B-(X) 50 a 70%. C-( ) 70 a 100%.	A queima do metano, componente principal do biogás, é considerada um procedimento ambientalmente correto. Por que o biogás não pode ser liberado livremente para a natureza? A-(X) Contribui para o aquecimento global. B-( ) Para aproveitar a energia renovável. C-( ) Porque os queimadores precisam funcionar continuamente.	Alguns estudos sugerem que o aproveitamento combinado do biogás com coprodutos pode tornar as ETEs autossuficientes na questão energética. Quais coprodutos gerados no tratamento do esgoto podem ser usados como fonte de energia? A-( ) Biogás, efluente e lixo. B-( ) Metano, sulfeto de hidrogênio e efluente. C-(X) Lodo e escuma.