



Transforma

Disciplina:
Química

ATIVIDADE: HIDROGÊNIO COMO COMBUSTÍVEL NOS JOGOS TÓQUIO 2020

JUNHO DE 2026

REALIZAÇÃO



COMITÊ OLÍMPICO DO
BRASIL

Tema: Hidrogênio como Combustível nos Jogos Tóquio 2020

Público-alvo: 2ª série do Ensino Médio

Valor Olímpico: Respeito

Habilidade socioemocional: Sustentabilidade

BNCC: EM13CNT301, EM13CNT304

Versão do Material: V1

Objetivo da Atividade

////////

Compreender o conceito de células de combustível e como elas utilizam o hidrogênio como fonte de energia, analisar reações de combustão e suas implicações para a energia sustentável, explorando a inovação do uso do hidrogênio como combustível durante os Jogos Olímpicos Tóquio 2020 e seu impacto ambiental.

Estrutura da Atividade: "Hidrogênio como Combustível nos Jogos Tóquio 2020"

////////

1. Introdução ao Hidrogênio como Combustível (10 minutos)

- » Apresentação do uso pioneiro do hidrogênio em Tóquio 2020.
- » Contextualização sobre energia sustentável e alternativas aos combustíveis fósseis.
- » Demonstração de veículos movidos a hidrogênio utilizados nos Jogos.

2. Funcionamento das Células de Combustível (15 minutos)

- » Explicação do processo de conversão de energia química em elétrica.
- » Análise da reação fundamental: $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{energia}$.
- » Comparação de eficiência com motores convencionais.

3. Demonstração Prática - Eletrólise da Água (10 minutos)

- » Experimento de separação da água em hidrogênio e oxigênio.
- » Conexão com o processo inverso nas células de combustível.
- » Observação dos gases produzidos.

4. Vantagens e Desafios (10 minutos)

- » Discussão em grupos sobre benefícios da tecnologia.
- » Análise dos obstáculos para implementação em larga escala.
- » Apresentação de soluções criativas pelos alunos.

5. Reflexão e Aplicações Futuras (10 minutos)

- » Debate sobre impacto ambiental e sustentabilidade.
- » Exploração de outras aplicações do hidrogênio.
- » Conexão com políticas ambientais globais.

A Revolução do Hidrogênio em Tóquio 2020

////////

- » **Veículos:** A empresa patrocinadora providenciou cerca de 500 veículos movidos a célula de combustível (FCEVs) e aproximadamente 850 veículos elétricos a bateria (BEVs) para transporte durante os Jogos Olímpicos e Paralímpicos.
- » **Ônibus:** Estava previsto o uso de cerca de 100 ônibus a célula de combustível, mas o número efetivamente em operação foi menor e restrito a rotas curtas.
- » **Chama Olímpica:** Pela primeira vez na história, a chama olímpica utilizou hidrogênio como combustível em parte de seu percurso — um marco inédito no simbolismo dos Jogos.
- » **Vila Olímpica:** A Vila dos Atletas foi parcialmente abastecida por células de combustível a hidrogênio, que forneceram eletricidade, aquecimento e água quente para cerca de 11.000 atletas.
- » **Legado urbano:** Após os Jogos, essa infraestrutura de hidrogênio foi mantida e a área passou a se chamar Harumi Flag, em referência ao bairro Harumi (onde ficava a Vila Olímpica) e à bandeira (flag) que traz a ideia de novo começo de um complexo residencial e comercial sustentável.
- » **Estações de reabastecimento:** Foram instaladas estações de hidrogênio para abastecer ônibus e veículos oficiais, embora a infraestrutura ainda estivesse em fase de expansão e testes durante os Jogos.

Conceitos Químicos Fundamentais

////////

1. Células de Combustível

Princípio de Funcionamento

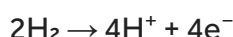
As células de combustível são dispositivos eletroquímicos que convertem energia química diretamente em energia elétrica por meio de reações redox.

Componentes Principais:

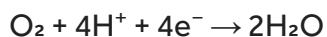
1. **Ânodo (-):** Onde ocorre a oxidação do hidrogênio.
2. **Cátodo (+):** Onde ocorre a redução do oxigênio.
3. **Eletrólito:** Meio condutor de íons.
4. **Catalisador:** Facilita as reações (geralmente platina).

Reações Envolvidas:

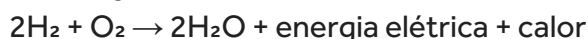
» No Ânodo (Oxidação):



» No Cátodo (Redução):



» Reação Global:



Características da Reação:

- » **Exotérmica:** Libera calor ($\Delta H^\circ \approx -571,6$ kJ por 1 mol de O_2).
- » **Espontânea:** $\Delta G^\circ \approx -474$ kJ (25 °C, 1 atm).
- » **Limpa:** Único produto é água pura.
- » **Eficiência elétrica típica (PEM em veículos):** 50–60%; valores superiores ocorrem apenas em sistemas estacionários com cogeração (elétrica + térmica).

2. Tipos de Células de Combustível

Células PEM (*Polymer Electrolyte Membrane*)

- » **Eletrólito:** Membrana polimérica
- » **Temperatura de operação:** 60–80°C
- » **Vantagens:** Partida rápida, alta densidade de potência.
- » **Uso:** Veículos automotivos (usado em Tóquio 2020).

Células SOFC (*Solid Oxide Fuel Cell*)

- » **Eletrólito:** Óxido sólido cerâmico
- » **Temperatura de operação:** 800-1000°C
- » **Vantagens:** Alta eficiência, múltiplos combustíveis.
- » **Uso:** Aplicações estacionárias.

Células AFC (*Alkaline Fuel Cell*)

- » **Eletrólito:** Hidróxido de potássio (KOH)
- » **Temperatura de operação:** 150-200°C
- » **Vantagens:** Alta eficiência, baixo custo.
- » **Uso:** Aplicações espaciais (NASA).

3. Produção de Hidrogênio

Eletrólise da Água

A eletrólise é o processo inverso das células de combustível, onde energia elétrica quebra moléculas de água.

- » **Reação da Eletrólise:**
 $2\text{H}_2\text{O} + \text{energia elétrica} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$
- » **No Cátodo (Redução):**
 $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$
- » **No Ânodo (Oxidação):**
 $2\text{OH}^- \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$

Tipos de Hidrogênio por Origem:

Tipo	Método de Produção	Impacto Ambiental	Participação no Mercado
Hidrogênio Cinza	Reforma de gás natural	Alto (emite CO ₂)	95%
Hidrogênio Azul	Reforma + captura de CO ₂	Médio	4%
Hidrogênio Verde	Eletrólise com energia renovável	Baixo (sustentável)	1%
Hidrogênio Amarelo	Eletrólise com energia nuclear	Baixo (sem CO ₂)	<1%

Observação sobre nomenclatura: não há padronização internacional das 'cores'. É usual chamar rosa (ou *pink*) o hidrogênio produzido por eletrólise com energia nuclear; amarelo muitas vezes refere-se à eletrólise com energia solar ou até à eletricidade da rede (mista).

4. Experimento: Eletrólise da Água

Materiais Necessários:

- » **Fonte de energia:** Bateria 9V ou fonte DC.
- » **Eletrodos:** Fios de grafite ou aço inoxidável.
- » **Eletrólito:** Água + bicarbonato de sódio (NaHCO_3).
- » **Recipientes:** Béqueres ou copos transparentes.
- » **Tubos de ensaio:** Para coletar gases.
- » **Multímetro:** Para medir corrente (opcional).

Procedimento:

1. **Preparação da solução:** Dissolva 1 colher de bicarbonato em 500 ml de água.
2. **Montagem do circuito:** Conecte eletrodos à fonte de energia.
3. **Posicionamento:** Coloque eletrodos em extremidades opostas do recipiente.
4. **Coleta de gases:** Inverta tubos de ensaio sobre cada eletrodo.
5. **Observação:** Registre formação de bolhas e volume de gases.
6. **Análise:** Compare volumes de H_2 e O_2 produzidos.

Resultados Esperados:

- » **Volume de H_2 :** Duas vezes maior que O_2 (proporção 2:1).
- » **Cátodo:** Produção vigorosa de hidrogênio.
- » **Ânodo:** Produção mais lenta de oxigênio.
- » **Tempo:** 10-15 minutos para volumes observáveis.

Teste do Hidrogênio:

- » **"Pop test":** Aproximar chama do tubo com H_2 .
- » **Som característico:** "Pop" indica presença de hidrogênio.
- » **Segurança:** Usar quantidades pequenas e supervisão.

Vantagens das Células de Combustível

////////

1. Ambientais

- » **Zero emissões locais no *powertrain*:** vapor d'água como subproduto.
- » **Redução de poluição sonora:** Operação silenciosa.
- » **Melhoria da qualidade do ar:** Não há NO_x/SO_x por combustão no *powertrain*; emissões no ciclo de vida dependem da origem do H_2 .
- » **Combate às mudanças climáticas:** Potencial zero carbono com H_2 verde.

2. Energéticas

- » **Alta eficiência:** 60-80% vs 25-35% motores convencionais.
- » **Conversão direta:** Química → elétrica (sem combustão).
- » **Modulares:** Fácil aumento de capacidade.
- » **Confiáveis:** Poucas partes móveis.

3. Operacionais

- » **Abastecimento rápido:** 3-5 minutos (vs horas para baterias).
- » **Autonomia elevada:** 400-600 km por tanque.
- » **Operação em baixas temperaturas:** Melhor que baterias.
- » **Vida útil:** 150.000-200.000 km.

Desafios e Limitações

////////

1. Técnicos

Armazenamento de Hidrogênio:

- » **Pressão elevada:** 350-700 bar (tanques resistentes e pesados).
- » **Temperatura criogênica:** -253°C para H_2 líquido.
- » **Vazamentos:** Molécula pequena, difícil contenção.
- » **Fragilização:** H_2 pode fragilizar metais.

Distribuição:

- » **Infraestrutura limitada:** Poucas estações de abastecimento.
- » **Custos de transporte:** Pipelines específicos necessários.
- » **Segurança:** Protocolos rigorosos para manuseio.

2. Econômicos

Custos Atuais:

- » **Células de combustível:** \$50-100/kW (meta: \$30/kW).
- » **Hidrogênio verde:** \$3-8/kg (meta: \$2/kg).
- » **Infraestrutura:** \$1-2 milhões por estação.
- » **Veículos:** 2-3x mais caros que convencionais.

Fatores de Custo:

- » **Platina:** Catalisador caro (pesquisa em alternativas).
- » **Produção limitada:** Economia de escala ainda não atingida.
- » **Pesquisa e desenvolvimento:** Investimentos altos.

3. Políticos e Sociais

- » **Políticas públicas:** Incentivos governamentais necessários.
- » **Aceitação pública:** Educação sobre segurança.
- » **Competição:** Baterias elétricas mais estabelecidas.
- » **Padronização:** Normas internacionais em desenvolvimento.

Atividades Práticas

////////

Atividade 1: Cálculo de Eficiência Energética

Objetivo: Comparar eficiência entre células de combustível e motores convencionais.

Dados fornecidos:

- » Poder calorífico do hidrogênio: 143 MJ/kg
- » Eficiência célula de combustível (PEM veicular): 50–60%
- » Eficiência motor a gasolina: 25%
- » Poder calorífico da gasolina: 44 MJ/kg

Problema: Compare a energia útil obtida de 1 kg de cada combustível.

Resolução:

Hidrogênio:

Energia útil = $143 \text{ MJ/kg} \times 0,60 = 85,8 \text{ MJ/kg}$

Gasolina:

Energia útil = $44 \text{ MJ/kg} \times 0,25 = 11,0 \text{ MJ/kg}$

Conclusão: Com os parâmetros adotados, a energia útil por massa pode ser significativamente maior, mas o fator exato depende da eficiência adotada e das hipóteses do ciclo.

Atividade 2: Análise de Emissões

Objetivo: Calcular redução de emissões com uso de hidrogênio.

Cenário: Ônibus urbano rodando 300 km/dia por 1 ano.

Dados:

- » Consumo diesel: 3 km/L
- » Emissão CO₂ diesel: 2,7 kg CO₂/L
- » Hidrogênio: Zero emissões locais

Cálculo:

Consumo anual diesel: $(300 \text{ km/dia} \times 365 \text{ dias}) \div 3 \text{ km/L} = 36.500 \text{ L}$

Emissões evitadas: $36.500 \text{ L} \times 2,7 \text{ kg CO}_2/\text{L} = 98.550 \text{ kg CO}_2$

Atividade 3: Projeto de Estação de Hidrogênio

Objetivo: Dimensionar uma estação para abastecer 100 veículos/dia.

Parâmetros:

- » Capacidade do tanque: 6 kg H₂
- » Autonomia: 500 km
- » Tempo de abastecimento: 5 minutos

Cálculos necessários:

1. Demanda diária de hidrogênio.
2. Capacidade de armazenamento.
3. Potência do eletrolisador.
4. Número de dispensadores.

Aplicações Futuras do Hidrogênio

////////

1. Transporte

- » **Aviação:** Airbus planeja aviões comerciais H₂ até 2035.
- » **Marítimo:** Navios de carga com células de combustível.
- » **Ferroviário:** Trens em linhas não eletrificadas.
- » **Mineração:** Veículos pesados em operações remotas.

2. Industrial

- » **Siderurgia:** Redução de minério de ferro sem carvão.
- » **Química:** Produção de amônia e metanol.
- » **Refino:** Hidrotratamento de combustíveis.
- » **Vidro:** Fornos com queima de hidrogênio.

3. Energético

- » **Armazenamento:** Excesso de energia renovável.
- » **Backup:** Sistemas de emergência.
- » **Microgrids:** Comunidades isoladas.
- » **Export:** Transporte de energia renovável.

4. Residencial

- » **Aquecimento:** Caldeiras domésticas.
- » **Geração distribuída:** Microcélulas de combustível.
- » **Cozinha:** Fogões adaptados para hidrogênio.
- » **Backup residencial:** Sistemas de emergência.

Questões para Discussão e Reflexão

////////

Questões Conceituais:

1. Por que as células de combustível são mais eficientes que motores de combustão?
2. Como o hidrogênio pode ser "verde", "azul" ou "cinza"?
3. Qual a relação entre eletrólise e células de combustível?
4. Por que a única emissão é vapor d'água?

Questões de Aplicação:

1. Como Tóquio 2020 demonstrou a viabilidade do hidrogênio?
2. Quais setores se beneficiariam mais desta tecnologia?
3. Como superar os desafios de armazenamento e distribuição?
4. Que políticas públicas incentivariam esta transição?

Questões de Reflexão:

1. Como o hidrogênio pode contribuir para as metas climáticas?
2. Qual o papel dos Jogos Olímpicos na promoção de tecnologias sustentáveis?
3. Como a química pode resolver desafios ambientais globais?
4. Que mudanças seriam necessárias em nossa infraestrutura energética?

Avaliação

////////

Critérios para Sustentabilidade:

1. **Consciência ambiental:** Compreende impactos de diferentes fontes de energia?
2. **Pensamento sistêmico:** Relaciona tecnologia, economia e meio ambiente?
3. **Propostas de solução:** Sugere alternativas sustentáveis viáveis?
4. **Comportamento responsável:** Considera implicações de escolhas energéticas?
5. **Visão de futuro:** Imagina cenários sustentáveis realistas?

Instrumentos de Avaliação:

- » **Relatórios de experimentos:** Compreensão dos processos químicos
- » **Análise de casos:** Aplicação em situações reais
- » **Projetos de inovação:** Propostas criativas para desafios
- » **Debates estruturados:** Argumentação baseada em evidências

Rubrica de Avaliação:

Critério	Excelente	Satisfatório	Em Desenvolvimento
Compreensão química	Explica reações e processos claramente	Compreende conceitos básicos	Compreensão superficial
Análise ambiental	Avalia impactos de forma complexa	Identifica principais impactos	Visão simplificada
Propostas sustentáveis	Soluções inovadoras e viáveis	Algumas propostas válidas	Propostas pouco elaboradas
Conexão teoria-prática	Liga conceitos com aplicações reais	Algumas conexões feitas	Poucas conexões estabelecidas

Recursos Necessários

////////

Materiais para Experimentos:

- » Fonte de energia (bateria 9V).
- » Eletrodos (grafite ou aço inox).
- » Bicarbonato de sódio.
- » Béqueres e tubos de ensaio.
- » Equipamentos de segurança.

Recursos Audiovisuais:

- » Vídeos oficiais de Tóquio 2020.
- » Documentários sobre hidrogênio.
- » Simulações de células de combustível.
- » Imagens de infraestrutura.

Valor Olímpico em Destaque: Respeito

////////

Esta atividade desenvolve o respeito por meio da consciência sobre sustentabilidade ambiental. Os alunos aprendem que respeitar o meio ambiente é fundamental para as gerações futuras e que a inovação científica – como demonstrada em Tóquio 2020 com o hidrogênio – oferece soluções concretas para os desafios climáticos. Ao compreender como as células de combustível

transformam hidrogênio em energia limpa, desenvolvem respeito pela natureza e percebem que os Jogos Olímpicos não são apenas uma celebração esportiva, mas também uma oportunidade de promover tecnologias que respeitam nosso planeta, demonstrando como ciência, esporte e Valores Olímpicos convergem para um futuro sustentável.

TRANSFORMA | COB - www.cob.org.br/cultura-educacao/transforma

REALIZAÇÃO



COMITÊ OLÍMPICO DO
BRASIL

