

## **Célula combustível microbiana: material didático para o ensino de Microbiologia**

Microbial fuel cell: didactic material for the teaching of Microbiology

Renata Cristina Galera<sup>1</sup>

Pierre Ferreira do Prado<sup>2</sup>

Iolanda Cristina Silveira Duarte<sup>3</sup>

### **Resumo**

Todo material didático visa auxiliar no processo de construção do conhecimento por parte dos alunos aproximando-os da realidade e aplicando a teoria que previamente aprenderam em aula. Muitas tecnologias podem ser adaptadas para serem trabalhadas em sala, entre elas, a Célula Combustível Microbiana (CCM) tem por finalidade a degradação de matéria orgânica por meio de bactérias com o intuito de descontaminação da água e consequente produção de energia elétrica. A CCM é um dispositivo facilmente adaptado para a realidade da sala da aula manuseada por alunos e professores, o que pode propiciar a construção significativa de conhecimento. Tendo esses aspectos em vista o presente trabalho consistiu em utilizar a CCM como material didático no ensino de Microbiologia, Química e Física para os níveis médio, técnico e superior fazendo uso de materiais de baixo custo a fim de tornar essa opção acessível.

**Palavras chave:** Recurso didático, biorreator, processo de ensino e aprendizagem.

### **Abstract**

Learning materials aim to assist the process of construction of knowledge by the student, bringing reality closer and applying theories that were previously learned in class. Many technologies may be adapted to be used in class, among them is the Microbial Fuel Cell (MFC) that aims to break down the organic matter by means of bacteria, decontaminating water and producing electricity. The MFC is easily adapted to the reality of the class and can be handled by both students and teacher, providing a significant construction of knowledge. The present study established the MFC as a learning material in the teaching of microbiology, chemistry and physics to technical, high school and undergraduate students, using low cost materials to guarantee the access to this resource.

**Keywords:** Features materials, Bioreactor, teaching and learning process.

---

<sup>1</sup> Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, SP

<sup>2</sup> Grupo de automação e sistemas integráveis, Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, SP

<sup>3</sup> Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, SP

## **Introdução**

O material didático é bem utilizado quando o aluno tem a oportunidade de manuseá-lo sendo livre para poder tirar suas próprias conclusões. Dessa forma, o estudante tem a chance de confrontar suas hipóteses, e então, descartá-las ou confirmá-las (SOUZA, 2007). Sua viabilidade aumenta à medida que se torna uma opção de fácil acesso, ou seja, de baixo custo, o que propicia a oportunidade de que todas as escolas e/ou universidades possuam esse recurso (FREITAS, 2007).

Diversos tipos de recursos são amplamente utilizados cada qual para um fim específico dentro de uma disciplina, como é o caso do microscópio (ensino de Biologia), ou empregados de forma genérica nas diferentes áreas do conhecimento como, por exemplo, os recursos utilizados na apresentação da aula (Datashow ou retroprojektor) (SOUZA, 2007).

O uso de uma tecnologia prática emergente como recurso didático no ensino de ciências proporciona aos estudantes a possibilidade de se verem diante de um problema real, de analisar e aplicar o que eles aprendem em teoria. Dessa forma, aproximam-se ainda mais da realidade, já que na prática conceitos específicos nunca aparecem isolados, mas sim atrelados aos de outras áreas (FREITAS, 2007).

A célula combustível microbiana (CCM) é muito estudada na área de saneamento e produção de energia, no entanto pode ser utilizada como material didático. A CCM pode envolver conhecimentos básicos de Elétrica, Química e Bioquímica em sua operação, propicia uma interdisciplinaridade mostrando a conexão da Microbiologia com outras áreas do conhecimento. A aplicação desse material envolve análises microbiológicas e físico-químicas com o intuito de caracterizar a microbiota desenvolvida nos eletrodos da célula, levando o estudante correlacionar técnicas e conceitos que muitas vezes são trabalhadas de forma isolada.

Para aplicar esse recurso de forma mais proveitosa, é necessário que exista uma orientação e planejamento da aula e dos procedimentos a serem realizados para auxiliar o professor que será um colaborador no processo de ensino e aprendizagem dos seus alunos (SOUZA, 2007).

As aulas práticas não devem ser somente a reprodução de procedimentos previamente estabelecidos a fim de que o aluno os realize e promova a ideia de uma verdade absoluta quanto aos conceitos abordados em sala de aula. Pelo contrário, devem ser vistas como oportunidade de proporcionar ao aluno o confronto das informações, dando-lhe a chance de formular seus próprios questionamentos e suas próprias teorias. O aluno deve analisá-las confirmando-as ou não, para que assim construa seu próprio conhecimento em cima de seus acertos e erros (CARRAHER, 1989; DELIZOICOV, ANGOTTI, PERNAMBUCO, 2011; KRASILCHIK, 2004; CARVALHO & PÉREZ, 2006). Dentro disso, é fundamental que o roteiro de uma aula prática seja cuidadosamente planejado para que não aprisione o aluno a uma receita pronta que deve ser obedecida à risca até que se chegue à resposta correta (CAPELETTO, 1992; DELIZOICOV, ANGOTTI, PERNAMBUCO, 2011; KRASILCHIK, 2004; CARVALHO & PÉREZ, 2006).

Somente o caráter ilustrativo do conteúdo teórico pode empobrecer as

aulas laboratoriais e pode levar ao desperdício de tempo em que o aluno deveria ter plena liberdade para explorar diferentes caminhos e opções dentro de um experimento. Ele é levado a reproduzir uma série de procedimentos e a alcançar um resultado já conhecido anteriormente, ou seja, a aula prática passa a ser um trabalho metódico na qual se busca na maioria das vezes por um resultado pronto (CARRAHER, 1989).

Diante deste cenário, este trabalho apresenta a construção e operação de CCM utilizando materiais de baixo custo e sua aplicação como recurso didático significativo e próximo à realidade científica, de modo que englobe diferentes áreas do conhecimento. Um roteiro de aula foi elaborado para auxiliar o professor a explorar todas as possibilidades desse material assim como propiciar ao aluno a construção de um conhecimento significativo.

### **Recursos didáticos**

Recursos didáticos podem ser definidos como todos e quaisquer recursos utilizados em um procedimento de ensino que colabore com a estimulação do aluno e a sua aproximação com o conteúdo (FREITAS et al., 2008). A partir desta definição fica evidenciado que o recurso didático tem lugar em todas as etapas do processo de ensino-aprendizagem servindo como ferramenta auxiliar para o professor no momento da aula ou da avaliação.

Segundo Spiegel (2006), materiais didáticos aumentam e multiplicam as possibilidades e podem proporcionar oportunidades para que cada aluno confronte seus próprios erros, os analise e tome decisões a respeito sendo, portanto, uma função extremamente válida, uma vez que, o professor, na maioria das vezes, não terá chance de atender as particularidades de cada aluno durante a aula.

Outra vantagem, dos materiais didáticos é que trazem informações atualizadas e organizadas promovendo atividades significativas e proporcionando que uma aula venha a superar suas expectativas. Nem todo aluno tem a mesma maneira de aprender, alguns entendem melhor lendo, outros ouvindo, outros ainda aprendem melhor através de atividades práticas. A utilização de recursos didáticos é a melhor maneira de realizar a tradução de um mesmo conteúdo para essas diversas “linguagens” atendendo assim as necessidades individuais (SPIEGEL, 2006).

No tocante ao ensino de ciências sabe-se que, muitas vezes, o que é ensinado nas escolas se resume a uma representação não realista do que de fato é vivenciado pelos cientistas em suas pesquisas. No ensino teórico não são repassadas as lutas e fracassos enfrentados no mundo científico, limitando-se apenas aos casos de sucessos. Sendo assim, o estudante não tem a oportunidade de participar de forma ativa no seu processo de ensino e aprendizagem (TEIXEIRA, 2003).

As aulas de laboratório podem ser colocadas como contraponto às aulas teóricas, ou seja, como uma possibilidade de repensar as ideias vistas em teoria. Dessa forma, funcionam como um catalisador de novos conhecimentos, alcançando o que Krasilchik (2008) definiu como alfabetização biológica multidimensional, que é a capacidade do estudante em aplicar o conhecimento adquirido e relacioná-lo com

conhecimento de outras áreas. Dessa maneira a ideia de que a aula prática é meramente uma ilustração do que se foi visto em sala pode ser descartada (CAPELETTO, 1992).

### **Histórico da célula combustível microbiana**

O termo “bioeletricidade” surgiu em 1790 com os experimentos de Luigi Galvani que consistiam na liberação de descargas de corrente elétrica em pernas de rãs levando à contração das mesmas. Em 1911, o pesquisador Michael Cresse Potter demonstrou pela primeira vez que as bactérias *Escherichia coli* podiam atuar sobre um substrato orgânico produzindo energia elétrica. Já em 1931, o pesquisador Cohen demonstrou a existência de células combustíveis biológicas que seriam capazes de produzir tensão de 35 V e corrente de 2 mA (LOGAN, 2003).

Em 1960, a CCM tornou-se popular graças ao interesse demonstrado pela NASA que pretendia utilizá-la para produzir energia paralelamente à degradação da matéria orgânica (produzida durante as viagens espaciais) (LOGAN, 2003). Na década de 80, com a crise do petróleo o interesse pelas CCM ressurgiu. No entanto essa tecnologia não teve sua comercialização cogitada devido à inviabilidade econômica. Atualmente existem diversos grupos de pesquisas em vários países empenhados em viabilizar o uso comercial dessa tecnologia que representa uma fonte limpa de energia (RACHINSKI et al., 2010).

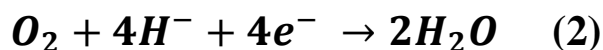
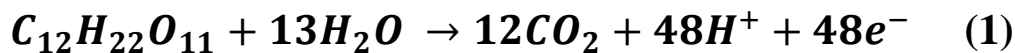
A CCM é uma tecnologia que atrai atenção não só pelo seu potencial de gerar eletricidade como também pela sua capacidade de quebrar a matéria orgânica, tornando-a viável para ser utilizada em estações de tratamento de esgoto. Também pode ser empregada como biossensor para determinação rápida de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), com as bactérias atuando como sensores e a corrente elétrica ou potencial elétrico gerado servindo como indicador (RACHINSKI et al., 2010).

### **Funcionamento da célula combustível microbiana**

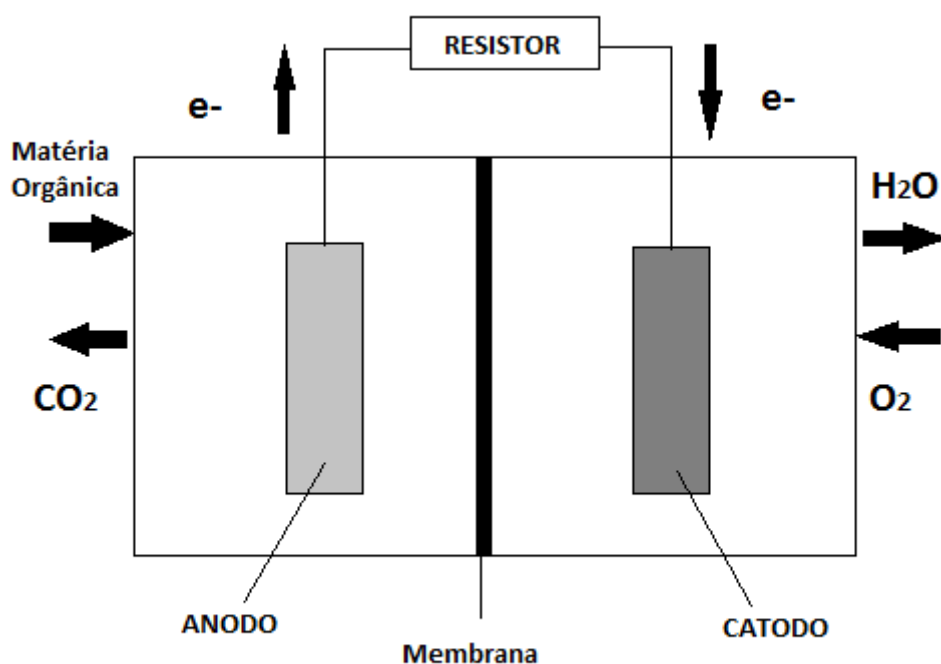
A CCM é composta por duas câmaras separadas por uma membrana transportadora de prótons  $H^+$ . Cada câmara comporta um eletrodo: o ânodo e o cátodo. As bactérias crescem oxidando matéria orgânica e fornecem elétrons para o ânodo e prótons para a solução. Esses prótons, por sua vez, seguem para a câmara catódica através da membrana. O cátodo constitui um ambiente aeróbio fornecendo oxigênio às reações com os elétrons e prótons. O cátodo e o ânodo são ligados através de um resistor. Este, por sua vez, é ligado a um multímetro e conectado a um computador para a aquisição de dados (Figura 1) (SHARMA & KUNDU, 2010).

A reação que ocorre no ânodo é basicamente a decomposição da matéria orgânica por parte das bactérias gerando elétrons. A equação (1) refere-se à a degradação da matéria orgânica (neste caso utilizando-se sacarose). Portanto é necessário um ambiente anaeróbio para garantir que os elétrons migrem para o eletrodo

e entrem no circuito, assim como, uma membrana que permita a passagem de prótons e não a de elétrons. Posteriormente esses elétrons chegam ao cátodo, ambiente aeróbio, onde o oxigênio atuará como aceptor final de elétrons e juntamente com os prótons transportados através da membrana haverá a formação de moléculas de água (2).



**Figura 1:** Esquema dos componentes básicos de uma célula de combustível microbiana (CCM).



**Fonte:** Adaptado de Sharma & Kundu (2010)

### O papel do biofilme

Durante o desenvolvimento de um biofilme, muitos fenômenos físicos, químicos e biológicos ocorrem simultaneamente e como resultado da conversão de nutrientes, o biofilme cresce e há produção de substâncias poliméricas extracelulares (PICIOREANU, 2004). Portanto o biofilme é definido como uma complexa massa

agregada de comunidades microbianas aderidas a uma superfície sólida através da excreção de uma matriz adesiva e protetora. A matriz polimérica é responsável pela estrutura, morfologia, coesão, integridade funcional dos biofilmes e sua composição determinará a maioria das propriedades físico-químicas e biológicas dos biofilmes (MOHAN et al., 2008).

Na CCM o crescimento do biofilme é essencial, já que esse dispositivo consiste em um biorreator convertendo energia química, liberada através da quebra das ligações químicas dos compostos orgânicos, em energia elétrica. Na CCM, o biofilme se formará na câmara anódica em torno do eletrodo e facilitará a passagem dos elétrons para o ânodo, assim como, será responsável por uma maior produção de elétrons (DU et al., 2007).

Portanto, o biofilme tem papel crucial na eficiência da CCM e muitos estudos vem sendo realizados. O uso de modelos matemáticos e programas de simulação computacional têm sido amplamente utilizados para ajudar a prever a formação do biofilme da forma mais eficiente (XAVIER et al., 2002).

## **Construção e manutenção da célula combustível microbiana**

### **Materiais**

- ✓ 5 canos de PVC (40 mm) com 10cm de comprimento cada;
- ✓ 2 Conectores de cano (40 mm);
- ✓ 4 Tampas de cano (40 mm);
- ✓ 30 cm de fio elétrico (2,5 mm);
- ✓ 2 presilhas condutoras (vermelho e preto);
- ✓ Eletrodo de carvão (grafite);
- ✓ Ferro de solda;
- ✓ Estanho para solda;
- ✓ Gelatina sem sabor;
- ✓ Resistor de 10  $\Omega$
- ✓ Sal;
- ✓ Água;
- ✓ Vinagre;
- ✓ Açúcar;
- ✓ Resina Epóxi;
- ✓ Algodão;
- ✓ Multímetro.
- ✓

### **Construção do eletrodo:**

1. Cortar dois pedaços de fio elétrico com 25 cm cada e descascar cerca de 1,5 cm as extremidades superiores e 4 cm as extremidades inferiores;
2. Soldar as presilhas condutoras vermelha e preta (lembrando que a presilha preta corresponde ao polo negativo e, portanto, deve estar localizada no ânodo enquanto que a presilha vermelha deve estar localizada no cátodo pois corresponde ao lado positivo), na extremidade superior de cada pedaço;
3. Nas extremidades inferiores dividir os fios de cobre em três grupos e soldar em cada um o eletrodo de carvão, já descascado, com cerca de 6 cm cada.

#### **Construção da Membrana:**

1. Preparar um envelope de gelatina incolor conforme as especificações do rótulo acrescentando sal;
2. Posicionar o cano verticalmente com uma das extremidades selada com um plástico para que a gelatina possa se solidificar nesse local.

#### **Construção da Estrutura:**

1. Conectar às extremidades inferiores e superiores de cada conector um pedaço de cano;
2. Conectar o cano com a membrana nas extremidades centrais dos conectores de forma a unir as duas partes formando uma estrutura em forma de “H”;
3. Nas extremidades inferiores dessa estrutura conectar uma tampa de cano;
4. Perfurar com o ferro de solda as tampas que sobraram na parte central para posterior encaixe dos eletrodos;
5. Para facilitar o encaixe das peças usar um isqueiro para aquecer as extremidades dos canos e conectores.

#### **Montagem da CCM:**

1. Encher o primeiro compartimento que será o cátodo da célula com água e sal;
2. Passar o eletrodo pela perfuração da tampa do cano;
3. Fechar o compartimento com a tampa de forma que o eletrodo fique para dentro da célula e a presilha condutora fique para fora;
4. Selar o resto da perfuração com algodão de forma a estabelecer um ambiente aeróbio;
5. Encher o segundo compartimento (ânodo) com água e sedimento de rio e fechar com a tampa de cano já conectada com o eletrodo da mesma forma que se procedeu com o compartimento anterior;

6. Selar o resto da perfuração da tampa com Resina Epóxi de forma a estabelecer um ambiente anaeróbio;

7. Unir as presilhas condutoras com um resistor de  $10\Omega$ .

#### **Manutenção de Célula:**

1. Conectar a célula ao multímetro e medir a corrente elétrica e a voltagem;
2. Colocar cada ponta conectora em cada ponta do resistor conforme as cores da presilha;
3. Realizar as medições diariamente por um tempo de 3 semanas (com exceção dos finais de semana), totalizando 15 dias;
4. Se a corrente começar a baixar acrescentar uma colher rasa de café de açúcar na câmara anódica, (esse procedimento pode ser realizado desconectando o caps dessa câmara).

#### **Utilização do Multímetro:**

1. Conectar a ponta de prova preta no primeiro orifício com a inscrição “COM”;
2. Conectar a ponta de prova vermelha no orifício com a inscrição  $V\Omega mA$ ;
3. Prender a ponta de prova preta na parte do resistor preso depois da presilha preta e a ponta de prova vermelha na parte do resistor presa depois da presilha vermelha (Figura 2);
4. Ligue o multímetro primeiramente na opção “DCV” 200m para medir a voltagem.
5. Para medir a corrente: Conecte uma extremidade do resistor na presilha preta e a outra extremidade do resistor na ponta de prova preta. Em seguida, conecte a ponta de prova vermelha na presilha vermelha.
6. Ligue o multímetro na opção “DCA” 200m para medir a corrente elétrica.



**Figura 2:** Célula combustível microbiana finalizada.



Fonte: O autor.

### **Proposta de utilização do material didático**

Esse material didático possibilita a abordagem de diferentes temas ligados às áreas de Biologia, (com foco na Microbiologia), Química e Física, o que o torna interdisciplinar. Entre os possíveis temas a serem estudados a partir da CCM, destaca-se neste estudo alguns assuntos tais como reações de oxirredução, reações de degradação de matéria orgânica, aspectos da Microbiologia, formação de biofilmes, geração de eletricidade. De forma mais ampla, pode ser utilizado como instrumento no estudo nas áreas de preservação ambiental, uma vez que essa tecnologia pode ser empregada na descontaminação de águas (DU et al., 2007).

Dessa forma, uma ampla faixa de atuação pode ser realizada com esse dispositivo, que contempla temas abordados no ensino médio, técnico e superior. Destaca-se algumas vantagens da utilização da CCM em salas de aula e em aulas laboratoriais como, por exemplo, o fato de ser um material com ótima relação custo/benefício, pois é capaz de ser reaproveitado muitas vezes. Por ser um dispositivo de fácil manuseio por parte, tanto do professor como dos alunos, consegue integrar vários conteúdos aproximando o estudante da realidade. Também permite que o aluno acompanhe a operação da CCM por horas ou dias possibilitando a ele problematizar e criar seus próprios questionamentos em relação aos assuntos estudados.

No entanto, é necessário um planejamento prévio e amplo das aulas em que o dispositivo será aplicado para que o principal objetivo de sua utilização não se perca. Recomenda-se, portanto, a elaboração de um roteiro para orientar o experimento que, segundo Capeletto, (1992), deve apresentar procedimentos explicitados de forma precisa a fim de que os alunos tenham espaço e liberdade para fazer seus próprios questionamentos. Dessa forma, o estudante se torna agente do próprio processo de ensino e aprendizagem ao mesmo tempo em que este roteiro estabelece os limites de tempo e conteúdo, auxiliando o professor no foco dos objetivos específicos da aula.

## Considerações finais

Durante essa pesquisa tornou-se clara a viabilidade desse dispositivo (CCM) para fins didáticos e pode-se demonstrar que é possível envolver diferentes áreas de conhecimento como Biologia, Física e Química. Do mesmo modo, por se tratar de um biorreator amplamente estudado pelo meio científico, o material vai além de um modelo usado para explicar conceitos tornando-se um dispositivo de utilidade real pelo qual conceitos ensinados teoricamente podem ser observados na prática, colaborando para aproximar os alunos da realidade do seu cotidiano. A CCM pode ser construída com materiais de fácil acesso e baixo custo, podendo dessa forma ser usada com facilidade, no ensino médio, técnico e superior.

Apesar do potencial como recurso didático, o uso da CCM em aulas práticas precisa ser previamente planejado para que possam constituir uma forma eficiente de construção de conhecimento por parte do aluno. Para que isso seja possível, é necessário que os professores incentivem os estudantes a questionarem e a criarem hipóteses.

O roteiro de aula prática foi elaborado neste trabalho como forma de auxiliar o professor e o aluno sem que a liberdade de manuseio por parte dos mesmos seja prejudicada.

Conclui-se que é importante, quando se pensa em recursos didáticos, usar equipamentos e dispositivos que já são usados no dia-a-dia do estudante, assim como, trazer para as salas de aulas tecnologias que estão sendo pesquisadas no meio científico a fim de tornar real para o aluno o processo científico, ensinando conceitos de forma aplicada.

## Referências bibliográficas

- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J.A.P.; PERNAMBUCO, M.M.C.A. **Ensino de Ciências: Fundamentos e Métodos**. 4. ed. São Paulo: Cortez, 2011.
- DU, Z.; LI, H.; GU, T. A state of the art review on microbial fuel cells: A promising technology for wastewater treatment and bioenergy **Biotechnology Advances**, v. 25, n. 5, p. 464-482, 2007.
- FREITAS, O. **Equipamentos e materiais didáticos**. Brasília: Universidade de Brasília, 2007. 132 p.
- FREITAS, L.A.M.; BARROSO, H.F.D.; RODRIGUES, H.G.; AVERSI-FERREIRA, T.A. Construção de modelos embriológicos com material reciclável para uso didático. **Bioscience Journal**, v. 24, n.1, p. 91-97, 2008.
- CAPELETTO, A. **Biologia e Educação ambiental: Roteiros de trabalho**. São Paulo: Ática, 1992. 224 p.
- CARRAHER, T.N. **Aprender pensando**. 2. ed. Petrópolis: Vozes, 1989. 128 p.
- CARVALHO, A.M. P.; PÉREZ, D.G. **Formação de professores de ciências**. 8. ed. São Paulo: Cortez, 2006, 128 p.
- KRASILCHIK, M., MARANDINO, M. **Ensino de ciências e cidadania**. São Paulo: Moderna, 2004, 88 p.

- KRASILCHIK, M. **Prática de Ensino de Biologia**. São Paulo: Editora USP, 2008, 200 p.
- LOGAN, B.E. **Microbial Fuel Cell**. New York: Willey, 2003. 216 p.
- MOHAN, V.; RAGHAVULU, V.; SARMA, P.N. Influence of anodic biofilm growth on bioelectricity production in single chambered mediatorless microbial fuel cell using mixed anaerobic consortia. **Biosensors and bioelectronics**, v. 24, p. 41-47, 2008.
- RACHINSKI, S.; CARUBELLI, A.; MANGONI, A.P.; MANGRICH, A. Pilhas de combustíveis microbianas utilizadas na produção de eletricidade a partir de rejeitos orgânicos: uma perspectiva para o futuro. **Química Nova**, v. 33, n. 8, p. 1773-1778, 2010.
- SHARMA, V.; KUNDU, P.P. Biocatalysts in microbial fuel cells. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 47, n. 5, p. 179-188, 2010.
- PICIOREANU, C.; XAVIER, J.B., VAN LOOSDRECHT, M. Advances in mathematical modeling of biofilm structure. **Biofilms**, v. 1, p. 1-13, 2004.
- SOUZA, S.E. O uso de recursos didáticos no ensino escolar. **Arq Mudi**, v. 11, n. 2, p. 110-114, 2007.
- SPIEGEL, A. Recursos didáticos: herramientas para enseñar, aprender y evaluar In.\_\_\_\_\_. **Recursos didáticos y formación profesional por competencias**. Bueno Aires: BID/FOMIN, 2006. p. 31-42.
- TEIXEIRA, P.M.M.A educação Científica sob a Perspectiva da Pedagogia Histórico-Crítica e do Movimento C.T.S. no Ensino de Ciências. **Ciência & Educação**. v. 9, n 2, p. 177-190, 2003.
- XAVIER, J.; PICIOREANU, C.; ALMEIDA, J.; VAN LOOSDRECHT, M. Monitorização e modelação da estrutura de biofilmes. **Boletim de Biotecnologia**, v. 76, p. 2-13, 2002.