



Submetido em 26 Nov 2019
Avaliado em 10 Dez 2019
Aprovado em 12 Dez 2019

Artigo

A produção de energia por meio de células combustíveis microbiológicas: uma proposta de trabalho interdisciplinar

Energy production through microbial fuel cells: a disciplinary work proposal

Alexandre Giacomini¹, Gustavo Feltrin Rossini², Iago Fonseca Rodrigues³, Poliheny Martins da Silva³

¹Prof. Dr. Colégio Militar de Santa Maria, ²Prof. Me. Colégio Militar de Santa Maria,

³Alunos do 3º ano do Colégio Militar de Santa Maria

E-mail: alexandregiacomini10@gmail.com, gustavofr06@gmail.com, iagorodrics@hotmail.com, martinspoly59@gmail.com

RESUMO: A busca por fontes renováveis de energia e por soluções inovadoras da bioeconomia, leva-nos à potencial ideia de utilizar micro-organismos para gerar eletricidade, mais especificamente, a tecnologia da célula combustível microbiológica (CCM). Nesse cenário, pesquisadores do Laboratório de Controle de Poluição da Escola de Química e Alimentos (EQA) da Fundação Universidade Rio Grande (FURG), do Rio Grande do Sul (RS), desenvolveram um projeto de usina para transformar a lama coletada do porto da cidade em energia elétrica por meio dessa tecnologia. A presente pesquisa, de cunho bibliográfico e exploratório, tem como objetivos: descrever essa produção de eletricidade da usina por meio da tecnologia da célula combustível microbiológica (CCM), verificando aspectos positivos, bem como, propor um trabalho interdisciplinar acerca desta temática para alunos do 3º ano do ensino médio. O resultado mais expressivo desse trabalho, no que tange à área do ensino e da educação, é que ele possa oferecer uma contribuição significativa na melhoria dos programas de construção de currículos, modificando principalmente a ideia de uma prática disciplinar, formal, para inserir-se numa prática interdisciplinar, que se caracterize pela interação com o coletivo de professores por meio de discussões e troca de experiências.

Palavras-chave: célula combustível microbiológica; energia; trabalho interdisciplinar.

ABSTRACT: The search for renewable energy sources and innovative bioeconomic solutions leads us to the potential idea of using microorganisms to generate electricity, more specifically, microbiological fuel cell (CCM) technology. In this scenario, researchers from the Pollution Control Laboratory of the School of Chemistry and Food (EQA) of the Rio Grande University Foundation (FURG) of Rio Grande do Sul (RS), developed a plant project to transform the mud collected from the port of city in electricity through this technology. This research, with bibliographic and exploratory nature, aims to: describe this electricity production of the plant through the microbiological fuel cell (CCM) technology, verifying positive aspects, as well as to propose an interdisciplinary work on this theme for students from 3rd year of high school. The most significant result of this work, in the area of teaching and education, is that it can make a significant contribution to the improvement of curriculum building programs, mainly modifying the idea of a formal, disciplinary practice to be inserted. an interdisciplinary practice, characterized by interaction with the collective of teachers through discussions and exchange of experiences.

Keywords: microbiological fuel cell; energy; interdisciplinary work.

Introdução

A tabela 01 mostra um panorama da realidade da oferta interna de energia no Brasil e no mundo, em percentuais. Pode-se observar que, nos últimos 45 anos, as matrizes energéticas do Brasil e do mundo apresentaram significativas alterações estruturais, principalmente no recuo da participação de derivados de petróleo, além disso, elas estão baseadas nos combustíveis fósseis,

representados, principalmente, por derivados de petróleo (31,7%), carvão mineral (26,1%) e gás natural (22,7%). Embora no Brasil tenha havido aumento na participação da energia hidráulica, da bioenergia líquida e do gás natural, ainda o petróleo e seus derivados (34,4%) continuam sendo a principal oferta de energia (BRASIL, 2019).

Tabela 01. Oferta Interna de Energia no Brasil e Mundo (%)

Fonte	Brasil		Mundo	
	1973	2018	1973	2018
Derivados de Petróleo	45,6	34,4	46,1	31,7
Gás Natural	0,4	12,5	16,0	22,7
Carvão Mineral	3,2	5,8	24,6	26,1
Urânio	0	1,4	0,9	4,9
Hidro	6,1	12,6	1,8	2,6
Outras não Renováveis	0	0,6	0	0,3
Outras Renováveis	44,8	32,6	10,6	11,7
<i>Bioenergia Sólida</i>	44,3	23,6	10,5	8,9
<i>Bioenergia Líquida</i>	0,5	7,5	0	0,64
<i>Eólica</i>	0	1,45	0	0,91
<i>Solar</i>	0	0,103	0	0,63
<i>Geotérmica</i>	0	0	0,1	0,54
Total (%)	100	100	100	100
<i>dos quais renováveis</i>	50,8	45,3	12,5	14,3

FONTE: BRASIL - Ministério de Minas e Energia (2019).

A disponibilidade de fontes energéticas constitui uma das principais bases estratégicas para o desenvolvimento humano e, para alcançar tal finalidade, é necessário o uso crescente de energias baseadas na bioeconomia.

Uma definição para bioeconomia encontra-se a seguir:

De acordo com a Associação de Bioinovação (ABBI) a bioeconomia engloba toda a cadeia de valor que é orientada pelo conhecimento científico avançado e a busca por inovações tecnológicas na aplicação de recursos biológicos e renováveis em processos industriais para gerar atividade econômica circular e benefício social e ambiental coletivo (EMBRAPA, 2019).

Neste contexto, a busca por fontes renováveis de energia e por soluções inovadoras da bioeconomia, que forneçam uma contribuição vital na transição das atuais práticas econômicas não-sustentáveis para sistemas industriais renováveis – a economia circular e de base biológica – aliando inovação e sustentabilidade para a solução dos principais desafios globais, leva-nos à potencial ideia de utilizar microrganismos para gerar eletricidade, mais especificamente, a tecnologia da célula combustível microbiológica (CCM) (HUGGINS *et al.*, 2014).

Nesse sentido, pesquisadores do Laboratório de Controle de Poluição da Escola de Química e Alimentos (EQA) da Fundação Universidade Rio Grande (FURG), do Rio Grande do Sul (RS), desenvolveram um projeto de usina para transformar a lama coletada do porto da cidade em energia elétrica. Esses pesquisadores salientam que o material possui altas concentrações de uma bactéria chamada de micrório elétrico e que ao término de cada refeição (constituída de algas, vegetais e restos de peixes) libera um pequeno fluxo de elétrons (FAPEMA, 2019).

A importância desse trabalho reside na busca por energias limpas, através dessas iniciativas, e investimentos em inovação tecnológica, com prioridade aos projetos ambientais que melhorem a qualidade de vida dos gaúchos e que garantam o desenvolvimento econômico das diferentes regiões.

Neste universo, a presente pesquisa de cunho bibliográfico e exploratório tem como objetivos: descrever essa produção de eletricidade da usina por meio da tecnologia da célula combustível microbiológica (CCM), verificando seus pontos positivos, bem como, propor um trabalho interdisciplinar acerca desta temática para alunos do 3º ano do ensino médio.

Metodologia

A pesquisa caracteriza-se, segundo Gil (2008), como exploratória e bibliográfica. A primeira é explicada uma vez que proporciona explicitar uma temática com pouca familiaridade, no caso, a produção de energia elétrica por meio da tecnologia da célula combustível microbiológica (CCM); já a segunda deve-se por ser desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos, seja em meio físico ou eletrônico.

As células combustíveis microbiológicas (CCM): o que são e para que servem

Historicamente, a ideia de utilizar micro-organismos (bactérias) para gerar eletricidade não é nova e foi atribuída a Potter em 1912, quando dizia: “A desintegração de compostos orgânicos por micro-organismos é acompanhada pela liberação de energia elétrica” (POTTER, 1912). Embora possa não ser muito conhecida, sendo cogitada em 1960 pela empresa de exploração espacial dos Estados Unidos da América (NASA), a utilização dessas células com o objetivo de gerar eletricidade concomitantemente com a degradação de resíduos orgânicos produzidos durante as viagens espaciais.

Posteriormente, durante a crise do petróleo ocorrida na década de 80, renovou-se o interesse no desenvolvimento dessa geração de energia. Poucos anos depois, Karube e colaboradores (1986) descreveram a geração de corrente elétrica de aproximadamente 300 mA a partir da bactéria *Anabaena* spp, utilizando uma célula combustível microbiológica (CCM) com ácido fosfórico como eletrólito.

Dessa maneira, pode-se perceber que as bactérias eram capazes de transferir elétrons para fora da célula, diretamente para um material sólido, chamadas de bactérias exoeletrogênicas, o que permite o seu uso em CCM, pois estabelecem contato eletroquímico com o eletrodo (LOGAN; REGAN, 2006).

A troca de elétrons entre a bactéria e o eletrodo se dá através de três mecanismos (SCHÖDER, 2007), como apresenta a Figura 01:

(a) Contato direto: acontece por meio de contato físico entre a bactéria e a superfície do eletrodo. Isso ocorre devido à presença da proteína identificada como citocromo na membrana que transfere os elétrons do interior para fora da célula diretamente para um eletrodo. Esse processo pode ser observado no ânodo da célula microbiológica de combustível na presença de micro-organismos como *Geobacter*, *Rhodoferax*, *Shewanella*, que apresentam a proteína citocromo na sua membrana celular.

(b) Mediadores são compostos químicos que, ao serem adicionados ao sistema, estimulam reações reversíveis de oxirredução, possibilitando a troca de elétrons entre a bactéria e o eletrodo. O composto é absorvido pela bactéria na sua forma oxidada e passa no interior da mesma para a forma reduzida, captando os elétrons e transportando-os para o exterior da célula até o encontro com o eletrodo, onde volta à sua forma oxidada, realizando esse procedimento de maneira cíclica até o consumo total do substrato existente pelo micro-organismo.

(c) Nanofios são estruturas que fazem parte do micro-organismo. Foram apresentados como cepas de *Geobacter sulfurreducens* e *Shewanella oneidensis*, que faziam conexão entre a bactéria e o eletrodo. Os nanofios sustentam a hipótese do biofilme sobre a superfície do eletrodo ser mais

espesso, pois garças a essas estruturas se poderia ter uma transferência de elétrons de micro-organismos mais afastados do eletrodo. Tal mecanismo possibilita uma transferência de elétrons de uma bactéria para outra não havendo necessidade de mediadores.

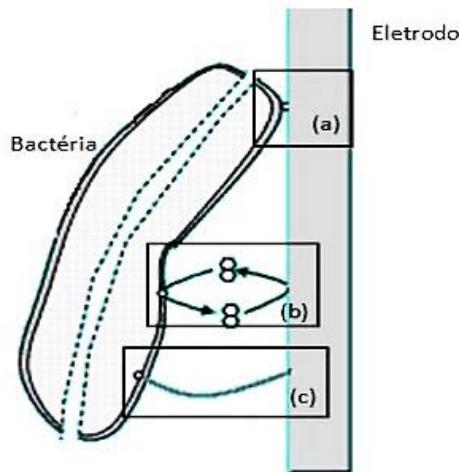


Figura 01. Mecanismo de transferência de elétrons.

(a) Contato direto (b) Mediadores (c) Nanofios. Fonte: Adaptado de Rabaey *et al.* (2007).

Assim, uma célula de combustível microbiológica (CCM) transforma a energia química armazenada nos compostos orgânicos em energia elétrica por meio de reações catalíticas operadas por micro-organismos que, agregados em biofilmes, crescem em condições anaeróbias sobre eletrodos. A Figura 02 mostra um esquema geral de uma CCM com duas câmaras (anódica e catódica) separadas por uma membrana de troca de prótons (MTP) (FRANKS; NEVIN, 2010).

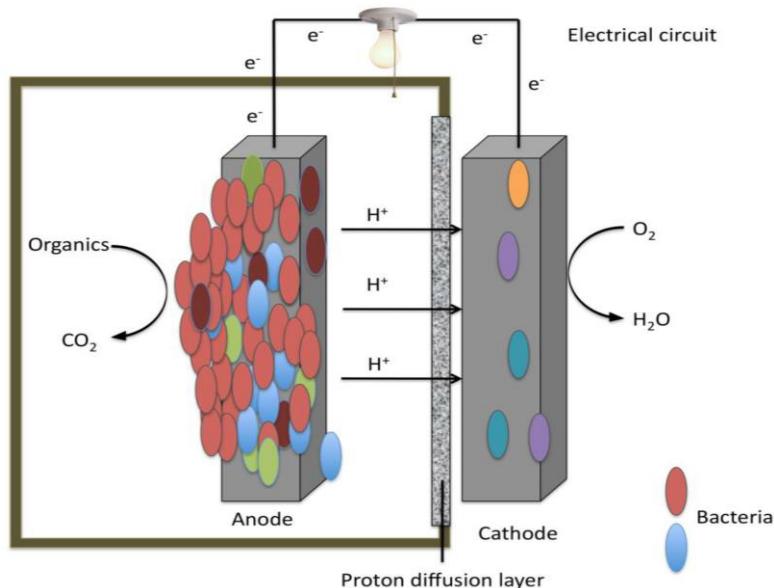


Figura 02. Esquema do funcionamento de uma célula de combustível microbiológica (CCM).
 FONTE: Franks e Nevin (2010).

Os micro-organismos colonizam o ânodo e oxidam os substratos e geram elétrons e prótons, com produção de dióxido de carbono. Ao contrário da combustão direta, os elétrons são recebidos pelo ânodo e transportados até ao cátodo através de um circuito externo. Os prótons são transferidos

para a câmara catódica através da membrana de troca de prótons, onde se combinam com o oxigênio para formarem água. A geração de corrente elétrica é possível por existir uma resistência entre os eletrodos que promove uma diferença de potencial convertida em corrente elétrica, esta é a chamada lei de Ohm. Este processo requer que a oxidação ocorra sem a presença de oxigênio ou outro aceitador final de elétrons que não seja o ânodo (FRANKS; NEVIN, 2010).

Atualmente, acredita-se que as CCM podem ser utilizadas em aplicações como: geradores elétricos individuais para residências, fonte de energia para dispositivos eletrônicos, barcos e robôs autossustentáveis e dispositivos de monitoração em locais remotos (RACHINSKI *et al.*, 2010).

O Porto de Rio Grande e o processo de transformação da lama em energia elétrica

As boas condições de navegação nos Portos devem-se principalmente ao processo de dragagem, que consiste na retirada do material do leito, que é realizado sazonalmente na grande maioria dos portos do mundo com a finalidade de manter a profundidade do canal propiciando a movimentação de embarcações de vários tamanhos em portos e marinas. Tal atividade é considerada potencialmente poluidora, e é regulamentada pela resolução nº 344/2004 do CONAMA.

O Porto da cidade de Rio Grande tem extrema relevância para toda a região sul do Brasil e para o Mercosul, pois a movimentação portuária depende principalmente da capacidade de carga dos navios, que é cada vez maior. Para isso ocorrer é necessário manter a profundidade do porto para propiciar a sua navegabilidade.

No Porto de Rio Grande a operação de dragagem realiza-se anualmente com volume aproximado de 4 milhões de m³ de sedimento retirado. Esse resíduo marinho possui uma grande quantidade de nutrientes, micro-organismos e considerável quantidade de matéria orgânica. A Laguna dos Patos recebe despejos de várias fontes, como agrícolas, urbanas e industriais de diferentes cidades localizadas nos seus arredores, além das inundações marinhas no canal que arrastam grandes quantidades de sedimentos (TORRES, 2000).

Os processos que ocorrem no projeto da usina do Porto de Rio Grande, criado pelos pesquisadores do Laboratório de Controle de Poluição da Escola de Química e Alimentos (EQA) da Fundação Universidade Rio Grande (FURG), para transformar a lama coletada do porto da cidade em energia elétrica, são basicamente três: dragagem da lama, transformação por processos químicos da lama em energia elétrica e a distribuição desta energia para a cidade.

O primeiro processo é o mecanismo de dragagem que ocorre quando há a retirada da lama do Porto e seu encaminhamento, através de tubos, para o setor em que essa sofrerá o processo químico de oxidação.

Por conseguinte, a lama é levada para um grande setor de armazenamento de rejeitos onde a água se mistura com produtos químicos a fim de diminuir a densidade da água, consequentemente, aumentando a densidade do sedimento, e dessa forma, a parte sedimentar se estabiliza no fundo.

Após a separação, as bactérias levam uma fração de segundo para sua alimentação. Ao final, essas bactérias passam a produzir pequenas quantidades de elétrons por meio da tecnologia da célula combustível microbiológica (CCM). Esses elétrons passam por um processo eletroquímico juntamente com as placas de grafite que estão em contato com o sedimento na parte mais funda. As placas de grafite que vão captar a energia gerada pelas bactérias, estão conectadas por fios de cobre até um gerador que emite dados da quantidade de energia liberada por elas.

Finalmente, a lama retorna ao seu ambiente de origem, com o objetivo de não levar mais dejetos do que o normal para o mar. Por outro lado, há distribuição da energia gerada, que tem capacidade de promover 580 megawatts em uma hora, para uma cidade com cerca de 600 mil habitantes (FAPEMA, 2019).

Proposta de trabalho interdisciplinar

A temática da produção de energia elétrica por meio da tecnologia da célula combustível microbiológica com a lama dragada do Porto de Rio Grande é de grande relevância no ensino. Dessa forma, a presente seção busca apresentar uma proposta de trabalho interdisciplinar abarcando as mais variadas disciplinas de diferentes áreas do saber (física, química, biologia, matemática, geografia, história, filosofia, sociologia e arte) para alunos do 3º ano do ensino médio.

Com o intuito de romper a prática curricular calcada no ensino tradicional estruturado nas disciplinas, busca-se um novo paradigma que almeje a integração dos conhecimentos por meio da interdisciplinaridade.

A interdisciplinaridade pode ser caracterizada pela “intensidade das trocas entre os especialistas e pelo grau de integração real das disciplinas no interior de um mesmo projeto de pesquisa” (JAPIASSU, 1976).

Além disso, para Fazenda (1992), a interdisciplinaridade implica uma relação de reciprocidade, de mutualidade, que pressupõe uma atividade diferente a ser assumida diante do conhecimento, ou seja:

Passa-se de uma relação pedagógica baseada na transmissão do saber de uma disciplina ou matéria, que se estabelece segundo um modelo hierárquico linear, a uma relação pedagógica dialógica na qual a posição de um é a posição de todos. Nesses termos, o professor passa a ser o atuante, o crítico, o animador por excelência (FAZENDA, 1992, p. 48).

Nessa ótica, após uma consulta dialógica com professores que trabalham no 3º ano do ensino médio do Colégio Militar de Santa Maria no ano de 2019, foi possível construir a seguinte matriz de conteúdos mínimos para uma proposta de trabalho interdisciplinar que integre a temática (Quadro 01).

Quadro 01. Matriz de conteúdos da proposta de trabalho interdisciplinar.

DISCIPLINAS	CONTEÚDOS PROPOSTOS
Física	<ul style="list-style-type: none"> - Densidade; - Vazão; - Transformações de energia; - Diferença de potencial (ddp); - Resistência elétrica; - Corrente elétrica; - Lei de Ohm; - Circuitos; - Distribuição de energia elétrica.
Química	<ul style="list-style-type: none"> - Reações orgânicas, catalíticas, de oxidação e oxirredução; - Separação de substâncias; - Combustão direta; - Tecnologia da célula combustível microbiológica (CCM); - Processos eletroquímicos; - Biofilme.
Biologia	<ul style="list-style-type: none"> - Bactérias: tipos e classificações, micro-organismos; - Bioeconomia; - Proteínas; - Célula; - Nanofios; - Legislações do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Matemática	<ul style="list-style-type: none"> - Análise estatística; - Dados envolvendo as grandezas área e volume;
Geografia	<ul style="list-style-type: none"> - A cidade de Rio Grande e suas características geopolíticas: relevo, clima, bacia hidrográfica, vegetação, população, economia, indústria etc.; - A importância econômica do Porto de Rio Grande para a cidade, para toda a região sul do Brasil e para o Mercosul; - Matriz energética do Brasil e do mundo; - Fontes renováveis e não renováveis de energia; - Economia; - Sistemas industriais.
História	<ul style="list-style-type: none"> - História da cidade de Rio Grande e de seu Porto; - Exploração espacial dos Estados Unidos da América; - Crise do petróleo na década de 80.
Filosofia e Sociologia	<ul style="list-style-type: none"> - Questões éticas e políticas envolvendo o processo de dragagem; - Organização social; - Modelos de Produção.
Língua Portuguesa	<ul style="list-style-type: none"> - Produção textual de relatórios e artigos; - Construção de charges e poemas.
Arte	<ul style="list-style-type: none"> - Construção de maquetes para representar os processos que ocorrem no projeto da usina do Porto de Rio Grande com a finalidade de transformar a lama em energia elétrica, desde a dragagem, passando pela produção e chegando na distribuição para a cidade.

FONTE: Elaborado pelos autores (2019).

Conclusão

A partir dos resultados dessa pesquisa, pode-se sinalizar que a construção de uma usina no Porto de Rio Grande, RS, que transforma energia elétrica a partir da lama por meio da tecnologia da célula combustível microbiológica (CCM), será a primeira 100% brasileira demonstrando ainda mais a capacidade do nosso país de utilizar seus recursos naturais e renováveis em prol de sua população.

Entre as vantagens dessa usina está a economia, bem como, o custo dela é menor quando comparado às hidrelétricas, além disso, a matéria prima viria das obras de dragagem do porto. Outro aspecto nessa linha é que as fontes de recursos são praticamente inesgotáveis, pois a lama se não usada pela usina, causa um forte impacto natural no oceano, afetando a vida marinha e até mesmo o turismo.

Por isso, a importância da construção dessa usina, além ser um grande avanço tecnológico e ambiental, constituir uma solução inovadora da bioeconomia, teremos uma nova fonte de energia limpa e renovável.

Um dos pontos contrários à construção dessa usina é que as células combustíveis microbiológicas não são normalmente consideradas como parte do portfólio das energias e que esta tecnologia não está suficientemente bem desenvolvida a ponto de gerar quantidades substanciais de energia com relação custo/benefício apropriada (LOVLEY, 2006).

Outro aspecto importante a ser ressaltado neste trabalho, no que tange à área do ensino e da educação, é que ele possa oferecer uma contribuição significativa na melhoria dos programas de construção de currículos, modificando principalmente a ideia de uma prática disciplinar, formal, para inserir-se numa prática interdisciplinar, que se caracterize pela interação com o coletivo de professores por meio de discussões e troca de experiências, como o que ocorreu no exemplo da proposta de trabalho interdisciplinar da temática da produção de energia elétrica por meio da tecnologia da célula combustível microbiológica com a lama dragada do Porto de Rio Grande.

Referências

- EMBRAPA. BIOECONOMIA é tema de evento em Brasília: O que é bioeconomia. Brasília, DF - Brasil: **Portal da Embrapa**, 11 set. 2019. Notícias. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias-/noticia/46460814/bioeconomia-e-tema-de-evento-em-brasilia>>. Acesso em 11 de dezembro de 2019.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Resenha Energética Brasileira - Exercício de 2018**. Edição de Maio de 2019.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 344**, de 25 de março de 2004. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, e dá outras providências. 2004. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=445>>. Acesso em 15 de novembro de 2019.
- FAPEMA - Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão. **Lama retirada de porto será transformada em energia**. Disponível em: <<https://www.fapema.br/index.php/lama-retirada-de-porto-sera-transformada-em-energia/>>, acesso em 20 de julho de 2019.
- FAZENDA. Ivani Catarina Arantes. **Integração e interdisciplinaridade no ensino brasileiro: efetividade e ou ideologia**. São Paulo: Loyola, 1992.
- FRANKS, Ashley. E.; NEVIN, Kelly P. **Microbial Fuel Cells, A Current Review**. Energies 3, pág. 899-919, 2010.
- GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- HUGGINS, T. M., WANG, H., KEARNS, J. P., JENKINS, P. T., & REN, Z. J. Biochar as a sustainable electrode material for electricity production in microbial fuel cells. **Bioresource technology**, 157, 114-9. 2014.
- JAPIASSU, H. **Interdisciplinaridade e patologia do saber**. Rio de Janeiro: Imago, 1976.
- KARUBE, I., IKEMOTO, H., KAJIWARA, K., TAMIYA, E., & MATSUOKA, H. (1986). Photochemical energy conversion using immobilized blue-green algae. **Journal of biotechnology**, 4(2), 73-80.
- LOGAN, B. E.; REGAN, J. M. Electricity-producing bacterial communities in microbial fuel cells. **Science Direct**. 14, 2006, 512- 518.
- LOVLEY, D. Bug juice: harvesting electricity with microorganisms. **Nat. Ver. Microbiol.** 4, 497–508. 2006.
- Potter, M. C.. Bacterial diseases of plants. The Journal of Agricultural Science, 4(3), 323-337. 1912.
- RABAEY, K., RODRÍGUEZ, J., BLACKALL, L., KELLER, J., GROSS, P. G., BATSTONE, D. J., VERSTRAETE, W. H., & NEALSON, K. H. Microbial ecology meets electrochemistry: electricity-driven and driving communities. **The ISME Journal**, 1, 9-18. 2007.
- RACHINSKI, Silvio; CARUBELLI, Ademir; MANGONI, Ana Paula; MANGRICH, Antonio S. Pilhas de combustíveis microbianas utilizadas na produção de eletricidade a partir de rejeitos orgânicos: uma perspectiva de futuro. **Quím. Nova** [online], vol.33, n.8, pp.1773-1778, 2010.
- SCHÖDER, U. Anodic electron transfer mechanisms in microbial fuel cells and their energy efficiency. **Physical Chemistry Chemical Physics**. 9, 2007, 2619-2629.
- TORRES, R. J., Uma Análise Preliminar dos Processos de Dragagem do Porto de Rio Grande, RS. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Rio Grande (2000).