



PGDESIGN | Programa de Pós-Graduação
Mestrado | Doutorado



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

João Nercimar Scalvenzi Finamor

**MICROGERAÇÃO DE ENERGIA COM USO DE ELETRÓLITOS COMPOSTOS DE
SUBSTRATOS ORGÂNICOS**

Porto Alegre

2018

JOÃO NERCIMAR SCALVENZI FINAMOR

Microgeração de energia com uso de eletrólitos compostos de substratos orgânicos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Design.

Orientador: Prof. Dr. Luís Henrique Alves Cândido

Porto Alegre

2018

CIP - Catalogação na Publicação

Finamor, João Nercimar Scalvenzi
MICROGERAÇÃO DE ENERGIA COM USO DE ELETRÓLITOS
COMPOSTOS DE SUBSTRATOS ORGÂNICOS / João Nercimar
Scalvenzi Finamor. -- 2018.
67 f.
Orientador: Prof. Dr. Luís Henrique Alves Cândido.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de
Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2018.

1. Microgeração de energia. 2. eletrólitos. 3.
sistemas eletroquímicos. I. Cândido, Prof. Dr. Luís
Henrique Alves, orient. II. Título.

João Nercimar Scalvenzi Finamor

MICROGERAÇÃO DE ENERGIA COM USO DE ELETRÓLITOS COMPOSTOS DE SUBSTRATOS ORGÂNICOS

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Design, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS.

Porto Alegre, dezoito de abril de dois mil e dezoito.

Prof. Dr. Régio Pierre da Silva

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

Banca Examinadora:

Orientador: **Prof. Dr. Luís Henrique Alves Cândido**

Departamento de Design e Expressão Gráfica (DEG/ARQ)

Prof. Dr^a. Célia de Fraga Malfatti

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPG3M/DEMET) - Examinador Externo

Prof. Dr. ^a Jocelise Jacques de Jacques

Departamento de Design e Expressão Gráfica (DEG/ARQ) – Examinador Interno

Prof. Dr. ^a Mariana Pohlmann de Oliveira

Departamento de Design e Expressão Gráfica (DEG/FA/UFRGS) – Examinador Externo

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que me guiou até aqui.

Aos meus pais e avós, a quem devo agradecer pela base que recebi para a vida, a minha mãe, incansável e sempre acreditando no meu sucesso e crescimento e também a todos os meus familiares que participaram desta caminhada, partilho a alegria deste momento.

A minha segunda família Tiago, Juliana, Gelci e Eduardo. Obrigado por sempre estarem presentes me dando força e incentivando. Amo vocês.

Agradeço a todos professores e funcionários do Programa de Pós-graduação em Design, em especial aos professores do Laboratório de Design e Seleção de Materiais. Ao meu orientador professor Dr. Luís Henrique Cândido pela liberdade e confiança referente ao presente trabalho e a professora Dr^a Lauren Cunha Duarte cuja leveza e bom humor, deram fôlego ao trabalho em dias difíceis.

A todos os Laboratórios da UFRGS, em especial ao LAPEC a quem recorri várias vezes durante esta pesquisa, em especial a Elen Leal da Silva, pois cada análise foi fundamental para a conclusão desse estudo

Agradeço aos meus colegas e amigos do LdSM, em especial Jaqueline Dilly, Juliana Breda, Silvie Jobim, Gabriel Barbieri, nosso convívio cotidiano, criou laços que mesmo agora, quando concluo esse ciclo, sei que posso sempre contar com vocês. Ao CNPQ e CAPES pelo auxílio e bolsa concedido.

EPÍGRAFE

“O tempo dá legitimidade a sua existência; o tempo é a única unidade real de medida, ele é prova da existência da matéria, sem o tempo não existimos.”

RESUMO

FINAMOR, J. N. S. **MICROGERAÇÃO DE ENERGIA COM USO DE ELETRÓLITOS COMPOSTOS DE SUBSTRATOS ORGÂNICOS**. 2018. 67 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

A busca por fontes de energia é algo inerente à história da sociedade. O impacto da revolução industrial e a evolução da produção manufaturada, forçaram a um crescimento do uso dos combustíveis fósseis. Crises do petróleo, crescimento populacional, tratados ambientais e o reconhecimento da influência das atividades humanas nos fenômenos de mudanças climáticas levaram ao aprofundamento das pesquisas e aplicações em Energias Renováveis e fontes menos poluentes. Dentre essas diversas pesquisas destaca-se o desenvolvimento de células eletroquímicas, que em muitas vezes, estão relacionadas à problemas de poluição ambiental. Células eletroquímicas são dispositivos capazes de gerar e acumular energia através de reações químicas e bioquímicas. Estudos nessa área são importantes, visto que muitas vezes existem dúvidas de ordem técnica para suas aplicações no design de produtos eletroeletrônicos, que buscam reduzir seu impacto, principalmente, no descarte final. Neste sentido, a presente pesquisa buscou contribuir com dados técnico-científicos orientadores para a geração da microenergia, a partir da utilização de materiais naturais para fabricação da célula bioquímica. Diante desse objetivo, foram selecionados materiais naturais dentre um conjunto de folhas de espécies comuns no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, com possível potencial para atuarem como eletrólito na microgeração de energia de corrente contínua. Após os ensaios de caracterização, foram montados sistemas de células eletroquímicas composta por eletrodos de Cobre e Zinco e os materiais selecionados como eletrólito. Os resultados apontaram que as folhas de limão, de bergamota, e de laranja apresentam um potencial para geração de energia. Com base na pesquisa, verificou-se que existem boas possibilidades para microgeração de energia utilizando eletrólitos com matérias naturais.

Palavras-chave: Microgeração de energia, Baterias, Eletrólitos, Substrato Orgânico

ABSTRACT

FINAMOR, J. N. S. **MICROGERAÇÃO DE ENERGIA COM USO DE ELETRÓLITOS COMPOSTOS DE SUBSTRATOS ORGÂNICOS**. 2018. 67 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

The search for energy sources is something inherent in the history of society. The impact of the industrial revolution and the evolution of manufactured production forced the use of fossil fuels to grow. Oil crises, population growth, environmental treaties and the recognition of the influence of human activities on the phenomena of climate change have led to the deepening of research and applications in Renewable Energies and less polluting sources. Among these several types of research the development of electrochemical cells, which in many cases, are related to the problems of environmental pollution, stands out. Electrochemical cells are devices capable of generating and accumulating energy through chemical and biochemical reactions. Studies in this area are important since there are often technical doubts for their applications in the design of electrical and electronic products, which seek to reduce their impact, mainly in the final disposal. In this sense, the present research sought to contribute to technical-scientific data guiding for the generation of micro-energy, from the use of natural materials to manufacture the biochemical cell. In view of this objective, natural materials were selected from a set of leaves of common species in the state of Rio Grande do Sul, Brazil, with a potential to act as an electrolyte in the micro energy generation of direct current. After the characterization tests, electrochemical cell systems composed of Copper and Zinc electrodes and the materials selected as electrolyte were assembled. The results indicated that lemon, bergamot, and orange leaves have a potential for energy generation. Based on the research, it was verified that there are good possibilities for microgeneration of energy using electrolytes with natural materials.

Keywords: Power Micro Generation, Batteries, Electrolytes, Organic Substrate

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Componentes de uma pilha	20
Figura 2 –	(a) operação de descarga de uma célula (b) operação de carga de uma célula	21
Figura 3 –	Principais tamanhos e formas de baterias comerciais	22
Figura 4 –	Diretrizes do Eco design aplicado ao DfX	27
Figura 5 –	Hierarquia da gestão de resíduos	28
Figura 6 –	Relação dos tipos de baterias com sua capacidade	33
Figura 7 –	Fluxograma do processo de pesquisa	37
Figura 8 –	Fluxograma detalhado da pesquisa	38
Figura 9 –	Amostra Cominuída	39
Figura 10 –	Sistema Eletroquímico 1-SE	42
Figura 11 –	Sistema Eletroquímico com menor volume de folhas	43
Figura 12 –	Sistema Eletroquímico para Voltametria	44
Figura 13 –	Arranjo das células eletroquímicas	45
Figura 14 –	Gráfico Relação de Potencial x Tempo (1-SE)	50
Figura 15–	Gráfico Relação de Potencial X tempo (2-SE)	52
Figura 16 –	Solução com folhas de Hibisco	53
Figura 17 –	Gráfico Relação de Potencial X tempo de misturas de materiais	55
Figura 18 –	Voltametria Linear	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ΔG	Varição de Energia livre de Gibbs
Ω	Ohm
μS	Micro Siemens
A	Ampere
Ca	Cálcio
Cd	Cádmio
Cu	Cobre
DfE	Design for Environment
DfX	Design for X
E°	Potencial Padrão
EDTA	ácido etilenodiamino tetra-acético
F	Constante de Faraday
HM	Metal-Hidreto
K	Potássio
LdSM	Laboratório de Design e Seleção de Materiais
LiAsF ₆	Lítio Hexafluoreto Arsenato
Mg	Magnésio
N	Nitrogênio
n	Número de mols
Ni	Níquel
P	Fósforo
pH	Potencial Hidrogeniônico
ORP	Potencial de Oxi-redução
V	Potencial
Zn	Zinco
WWF	World Wide Found

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. DELIMITAÇÃO DO TEMA	16
1.2. PROBLEMA	16
1.3. OBJETIVOS	16
1.3.1. Objetivo Geral	16
1.3.2. Objetivos Específicos	16
1.4. JUSTIFICATIVA	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1. ENERGIA	18
2.2. CÉLULAS ELETROQUÍMICAS	20
2.3. ECODESIGN	25
2.4. SELEÇÃO DE MATERIAIS	27
2.5. PRINCÍPIOS BÁSICOS DE UM SISTEMA ELETROQUÍMICO	29
2.5.1. Energia livre de Gibbs	30
2.5.2. Capacidade teórica	31
2.5.3. Fatores que influenciam a eficiência de um sistema eletroquímico	31
2.5.4. Conceitos de Tensão de um sistema eletroquímico	32
2.6. ELETRÓLITO	33
3. MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1. SELEÇÃO DE MATERIAIS	38
3.2. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	39
3.3. MEDIÇÃO DO pH	40
3.4. MEDIÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	40
3.6. CARACTERIZAÇÃO ELETROQUÍMICA	42
4. RESULTADOS	46
4.1. DETERMINAÇÃO ELETROMÉTRICA DO pH	46
4.2. CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	47
4.4. GERAÇÃO DE ENERGIA NO SISTEMA ELETROQUÍMICO	48
4.5. REDUÇÃO DE VOLUME DE MATERIAL NATURAL	51

4.8. ARRANJO EFICIENTE	56
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
TRABALHOS FUTUROS	61
PUBLICAÇÃO DO TRABALHO	62
REFERENCIAS	63

1. INTRODUÇÃO

Com a evolução da espécie humana, ocorreu paralelamente o desenvolvimento dos materiais para fabricação de produtos. No decorrer desse processo, surgiu a necessidade da busca por novas fontes de energia, bem como se fez necessário a minimização dos impactos gerados pelo homem ao meio-ambiente, como poluição, a geração de resíduos, decorrentes do consumo desenfreado.

A importância dos materiais é tão grande para a sociedade, que eras diferentes da humanidade receberam o nome do material mais importante em cada uma delas. Desde a Era da Pedra à Era dos Metais - cobre bronze e ferro - e ainda nos dias de hoje ao que se tem convencionado chamar de Era do Silício (OLSON, 2001).

Para cada avanço no uso de materiais, emerge um novo comportamento na sociedade. Nas eras antigas, aquela sociedade que fosse mais eficiente no domínio desse material preponderava sobre as demais. Isso, porque, em geral, as novas matérias-primas se destinavam em primeiro lugar para fins de armamento e só depois assumiam outras funções (ferramentas, conforto, decoração). A essa configuração outro principal fator definia a supremacia de uma civilização: fontes de Energia, ou seja, assim como hoje, preponderava quem detinha o conhecimento e reservas do que se configurava como estratégico. Quanto mais avançada a civilização, mais estratégicos os materiais à sua disposição e mais elaborados e eficientes os artefatos e equipamentos produzidos (NAVARRO, 2006).

Quando se fala sobre fontes de energia, pode-se dizer que a grande demanda surgiu com o início da I Revolução Industrial, momento no qual ocorreu um aumento do uso de combustíveis de origem fóssil. Até a década de 60, o carvão foi a principal fonte primária de energia, quando foi ultrapassado pelo petróleo. Lembrando que esse óleo combustível foi descoberto em 1859 por Edwin Drake, em Tutsville, nos EUA. Esse petróleo utilizado era o que aflorava da superfície, devido a sua característica de constante movimentação no subsolo, no caso de não encontrar formações rochosas ele era expelido para a superfície (FARIAS 2011).

Mas foi em 1930, que o petróleo começou a ter seu uso mais disseminado, visto que com surgimento da indústria petroquímica, vários subprodutos foram gerados, como produção de equipamentos, objetos, artigos, entre outros, sendo a gasolina o

principal item. O petróleo refinado dá origem, aos seguintes produtos: gás liquefeito, gasolinas, naftas, óleo diesel, querosenes, óleos combustíveis, asfaltos, lubrificantes, solventes, parafinas, coque de petróleo e resíduos (AMARAL, 2010).

A partir de 1973, com as crises do petróleo, ocorreu uma série de debates sobre o uso as energias alternativas. Somados a guerra do Yom Kipur (1973), a revolução islâmica no Irã (1979) e a guerra Irã-Iraque (1980), em regiões dos maiores fornecedores de petróleo do mundo, houve uma reconsideração sobre o uso de combustíveis fósseis (CAMPBELL, 2002).

Além do esgotamento do petróleo, existem outros fatores a serem considerados, para a redução do uso do mesmo, como a poluição oriunda da queima de combustíveis, a poluição de dejetos plásticos, a maioria deles produzidos utilizando o petróleo como matéria-prima, bem como as mudanças climáticas e seus efeitos no planeta. Diante dessa situação, as energias renováveis vêm ganhando espaço na economia mundial, a partir do Protocolo de Kyoto vários países passaram a investir no uso de fontes renováveis de energia na matriz energética (MOREIRA, 2008).

Entende-se como energia renovável, aquela que é originada de recursos naturais que são reabastecidos, e energia sustentável, como aquela que é obtida e utilizada de uma forma que simultaneamente atenda ao desenvolvimento da humanidade ao longo prazo nas dimensões social, econômica e ambiental (NAKICENOVIC, 2002).

A promoção de energias renováveis apresenta aspectos com desafios múltiplos e complexos que engloba fatores políticos, econômicos, sociais e culturais. Segundo Brown (2003), a chave para o progresso econômico sustentável é fazer com que os preços dos produtos sejam incorporados no valor dos serviços de recuperação dos ecossistemas.

Ferreira & Ferreira (1995), destacam que a insustentabilidade da civilização contemporânea, a médio e longo prazo, ocorrerá, basicamente, devido aos seguintes fatores: crescimento populacional e concentração espacial da população, depleção do suporte de recursos naturais, sistemas produtivos que utilizam tecnologias poluentes e de baixa eficiência energética e, um sistema de valores que propicia a expansão ilimitada do consumo material.

Na prática, observa-se que a revalorização no setor energético não tem revertido em grandes mudanças, a não ser em alguns países, como por exemplo, Alemanha e Dinamarca, que têm procurado modificar sua matriz energética de forma

mais acelerada. Na maioria dos países, existe um travamento na mudança da matriz energética, ou seja, a incorporação de critérios ou condicionantes socioambientais é lenta e, em geral, acarretam mudanças brandas (SIMIONI, 2006).

A mudança nas fontes de energia deve englobar não só fatores ambientais, mas deve envolver boas políticas públicas e uma gestão correta dessa energia, para evitar, assim, pequenos erros, como por exemplo, a Alemanha. O país atingiu o nível superior de produção de energia renovável em relação ao consumo, fazendo com que o preço da energia ficasse com valores negativos, ou seja, o governo “pagou” para consumirem eletricidade (CHARLTON, 2016). Esse fato ocorreu em um dia isolado, com características de vento e sol extremamente propícios para geração de energia, mas mostra o quão delicado e complexo é o gerenciamento de uma matriz energética de um país. Nesse exemplo, de acordo com Charlton (2016), as turbinas eólicas e geradores fotovoltaicos forneceram cerca de 87% da energia a ser consumida, mas como a produção de energia em termoeletricas e usinas nucleares não pode ser facilmente interrompida foram forçados a continuar a vender energia à rede, permitindo que os clientes “ganhassem” dinheiro usando eletricidade.

Exemplos como o da caso da Alemanha, mostram a importância da informação, de como ela deve não só ser gerada, mas também difundida, visto o problema envolvendo energia, matéria-prima, consumo, não possui uma resposta linear, há a necessidade de um maior estudo e planejamento acerca desse assunto, bem como a exploração de outros vieses, como, por exemplo, o uso de energia renovável em escalas menores, uso de células de energia entre outras possíveis soluções ou contribuições no que se refere a essa complexa equação.

A microgeração de energia, em geral, provém de fontes renováveis, e embora gere tensões mais baixas, pode ser utilizada em diversos equipamentos e dispositivos que hoje ainda utilizam fontes tradicionais de energias (DE SOUZA,2009). É nesse panorama que emerge o presente trabalho, cujas delimitações e recortes serão apresentados a seguir.

1.1. DELIMITAÇÃO DO TEMA

O tema do presente estudo envolve a geração e acúmulo de micro energia por meio de sistemas eletroquímicos compostos de materiais naturais.

1.2. PROBLEMA

Quais materiais, de origem natural, podem ser aplicados como eletrólitos para micro geração de energia em uma bateria portátil?

1.3. OBJETIVOS

Para buscar resolver o problema da pesquisa os seguintes objetivos foram realizados.

1.3.1. Objetivo Geral

Gerar informações técnico-científicas do potencial elétrico obtido a partir de células de energia formadas com eletrólitos de origem natural que potencializem seu uso no design de produtos eletroeletrônicos.

1.3.2. Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram elencados:

- Selecionar materiais naturais com possíveis potenciais para atuarem como eletrólitos na geração de micro energia;
- Realizar ensaios para determinar o máximo potencial gerado pelo sistema eletroquímico;

- Analisar a influência do volume de eletrólito na geração de energia pela célula de energia;
- Determinar a melhor relação de composição do eletrólito via multimateriais naturais.

1.4. JUSTIFICATIVA

Os padrões de geração e consumo de energia são baseados em fontes fósseis, além de sua finitude, esse tipo de fonte gera emissões de poluentes, que são um dos fatores que podem causar as mudanças climáticas do planeta, problemas de saúde nas pessoas, degradação de patrimônios históricos, entre outros problemas. Faz-se necessário mudar os padrões estimulando as energias renováveis, bem como a pesquisa no que se relaciona a inovação energética.

Com o avanço das tecnologias e da demanda da sociedade, geradores e acumuladores de energia se fazem cada vez mais presentes no cotidiano. Esses sistemas são compostos por metais pesados, bem como em alguns casos por materiais tóxicos. Assim, torna-se relevante pesquisar materiais alternativos para a composição desses sistemas eletroquímicos. Observa-se uma tendência de micronização de produtos eletroeletrônicos, com baixo consumo de energia, onde baterias como a da presente pesquisa, têm grande aplicação.

Assunção (2008) destaca que em muitos lugares a energia elétrica não se faz presente, devido a problemas de distribuição, geração ou logística, nessas áreas a microgeração pode contribuir para o acesso da mesma. Ainda segundo o autor sistemas fotovoltaicos microgeradores eólicos, microturbinas e sistemas eletroquímicos são a melhor forma de dissipar e atender regiões onde existe uma limitação energética. Sendo assim, a pesquisa virá a contribuir na demanda existente de micro energia e sistemas geradores de energia portáteis.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo, são abordados assuntos inerentes ao desenvolvimento da pesquisa. A revisão foi estruturada nas seguintes etapas: Conceitos sobre energia, caracterização e conjunturas sobre baterias, importância do Eco Design, contextualização da seleção de materiais relacionando ao desenvolvimento de produtos sustentáveis, princípios básicos de um sistema eletroquímico e fundamentação sobre eletrólitos.

2.1. ENERGIA

A energia é um termo derivado do grego "ergos" que tem por significado: "trabalho". Em conceitos físicos, está relacionada à capacidade de um corpo produzir trabalho, ação ou movimento. Ainda, também é usado, comumente, para designar o vigor, a firmeza e a força (DEBEIR & HÉMERY, 1993).

Conforme Tolmasquim (2003), o conceito de energia é algo relativo, pois não existe uma definição específica para esse fenômeno físico. Ela é sentida e percebida de diversas formas, seja na emissão de luz, no calor de uma chama ou quando a água move uma turbina de uma usina hidroelétrica.

De acordo com o primeiro princípio da Termodinâmica a energia não pode ser criada, mas apenas transformada e cada forma de energia provoca determinados fenômenos característicos nos sistemas físicos (DEBEIR & HÉMERY, 1993).

Ainda segundo Debeir & Hémery (1993), a energia relacionada ao movimento é denominada cinética, enquanto a que armazena é conhecida por potencial. As forças geradoras de energia são os diversos elementos da natureza, que são utilizadas para diferentes aplicações.

Quando existe energia cinética, o corpo em movimento realiza trabalho, ou seja, ocorre uma transferência de energia de um corpo para outro. Mas existe também outro tipo, essa, para corpos em repouso denominada energia potencial gravitacional, que ocorre apenas pelo fato de o corpo ocupar um lugar no espaço. Existem outros tipos de energia como: a potencial elástica, a química (oriunda de processos químicos), a térmica e a elétrica (TOLMASQUIM, 2003).

Há fundamentalmente dois tipos de fontes de energia, as renováveis e não renováveis. Entende-se por renovável aquela gerada com facilidade, tendo sua fonte em grande quantidade, como o sol, vento e água. Já as não renováveis têm sua fonte limitada e que se esgota no decorrer do uso, como por exemplo, combustíveis fósseis (DEWI, 2002).

Pacheco (2006) destaca que as energias renováveis são provenientes de ciclos naturais de conversão da radiação solar, fonte primária de quase toda energia disponível na Terra e, sendo assim, são praticamente inesgotáveis, não alterando o balanço térmico do planeta. No cenário atual, configuram um grupo de fontes de energia que podem ser chamadas de não convencionais, ou seja, aquelas que não são baseadas em fontes com combustíveis fósseis.

Todas essas formas estão diretamente relacionadas com o trabalho realizado. Consoante Tomalsquim (2003), o trabalho é uma medida de energia transferida ou transformada.

A energia elétrica é fundamental para o desenvolvimento econômico, sendo necessário um grande aumento de sua oferta para acompanhar a demanda (AKSANLI, 2012; SITHAN, 2011). Junto com o crescimento da oferta, se faz necessário o desenvolvimento sustentável, que tenha um menor impacto ambiental, por conseguinte, é preciso uma diversificação de fontes de energia com o aumento do uso de alternativas de geração (SMITH, 2012; SINGH, 2008).

Um dos caminhos da diversificação das formas de fornecimento de energia é microgeração de energia, que consiste na produção de energia elétrica em baixa escala e com baixo teor de carbono. Anton e Sodano (2007) salientam que existe uma demanda para o desenvolvimento e utilização das microfuentes alternativas, especialmente para aplicações que requerem baixo consumo. A microgeração pode atender a regiões onde a distribuição de energia elétrica não ocorre. Segundo Muniz (2015), as microfuentes trazem um equilíbrio socioeconômico ao vazio oriundo da falta de eletricidade.

Mas, para que a energia possa fazer parte do cotidiano de toda a sociedade, seu armazenamento e portabilidade tornam-se fundamentais. Dessa forma, para que haja uma forma eficaz para esses requisitos, foram desenvolvidos acumuladores, baterias, porém estes têm como base em reações químicas de metais tóxicos. Como por exemplo, as baterias de chumbo-ácido e níquel-cádmio, os sistemas mais populares para o fornecimento de energia elétrica adequada para o equipamento.

2.2. CÉLULAS ELETROQUÍMICAS

As células eletroquímicas, usualmente são consideradas os dispositivos que convertem energia química em energia elétrica. Elas são compostas de dois eletrodos (condutores elétricos), onde as reações químicas que utilizam ou produzem elétrons ocorrem. Os eletrodos são ligados por uma solução, chamada de eletrólito, por meio do qual os íons podem mover-se, quando em circuito-fechado. Os elétrons são produzidos no ânodo e fluem através de um circuito externo para o cátodo. Este movimento dos elétrons é uma corrente elétrica, que pode ser utilizada para alimentar dispositivos simples (TAMEZ, 2007).

Uma célula eletroquímica é uma unidade de base fornecendo uma fonte de energia elétrica por conversão direta de energia química (Reddy, 2002). A célula é constituída por um conjunto de eletrodos, separadores, eletrólito, recipiente e terminais. Enquanto a bateria é constituída por um ou mais células eletroquímicas, conectadas eletricamente em um arranjo, que pode ser em série ou em paralelo.

O uso cotidiano (comercial) considera a bateria e não a célula eletroquímica como o produto que é vendido ou fornecido ao usuário. Nesse sentido, para essa pesquisa, o termo " célula de energia" será usado para descrever o componente de uma célula da bateria e a suas características físico-químicas. O termo "bateria " será usado quando for relatar sobre o conjunto das células, ou o desempenho do produto.

A Figura 1 mostra um esquema dos constituintes básicos de uma célula de energia ou pilha.

Figura 1 - Componentes de uma pilha.



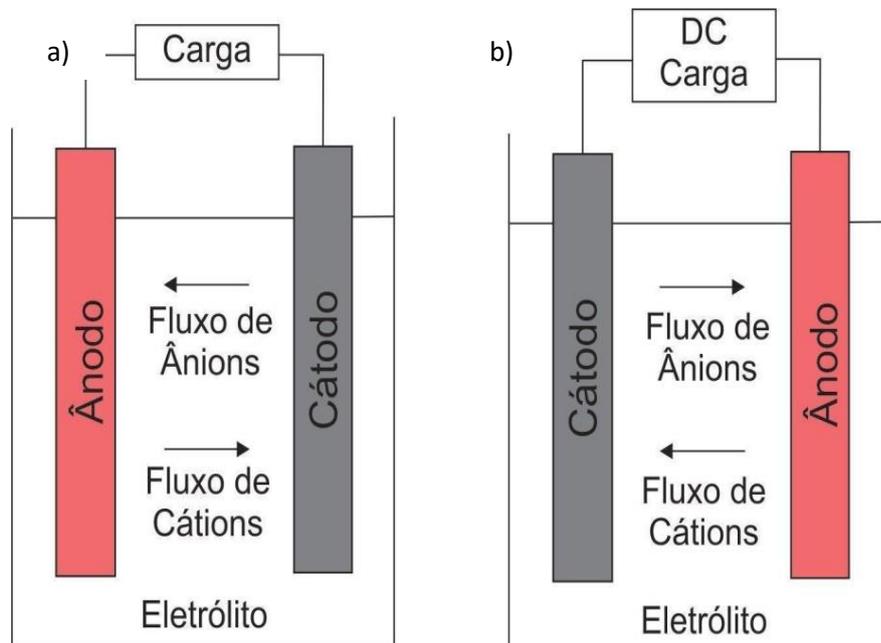
Fonte: adaptado de Reddy (2002).

O ânodo, ou eletrodo negativo, é o material que é oxidado, liberando elétrons.

Já o cátodo, ou eletrodo positivo, é o material que se reduz, ou seja, recebe os elétrons. O terceiro constituinte fundamental para uma célula eletroquímica é o eletrólito ou condutor iônico. Cabe ao eletrólito fornecer o meio de transferência de carga, no caso os íons dentro da célula, entre o ânodo e cátodo. O eletrólito normalmente se encontra na forma líquida, como água ou outros solventes, com sais dissolvidos, ácidos, álcalis ou para transmitir condutividade iônica. Algumas baterias utilizam eletrólitos sólidos, que são condutores iônicos na temperatura de operação de funcionamento da célula (REDDY, 2002).

A quantidade de energia elétrica por massa ou volume que uma bateria pode fornecer é uma função do potencial e a capacidade da célula, o que depende da reação química do sistema. Outro parâmetro importante é a potência, que depende em parte do arranjo da bateria, mas fundamentalmente dos materiais que compõem a bateria (NAGAURA, 1990). Na figura 2, pode-se observar o esquema de operação básico de uma pilha.

Figura 2 – Esquema de operação de um sistema eletroquímico [(a) operação de descarga de uma célula (b) operação de carga de uma célula.]



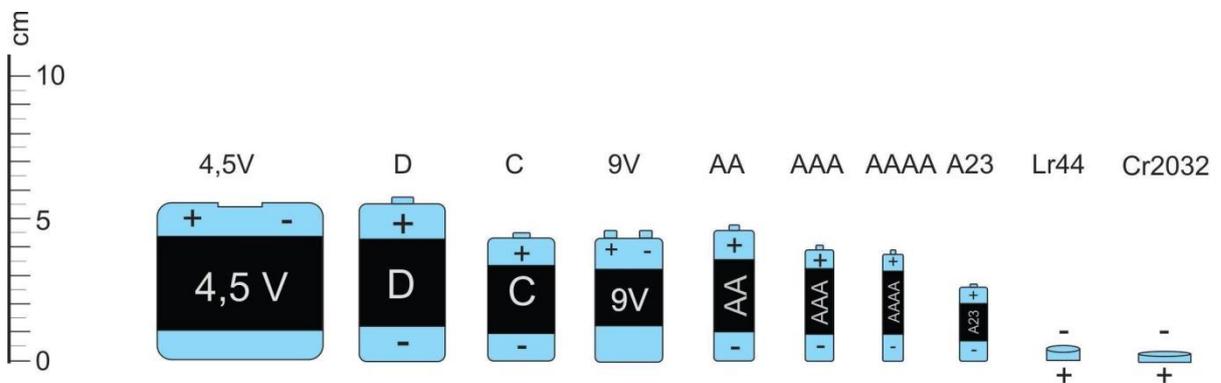
Na operação de descarga de uma célula eletroquímica, quando a célula está ligada a um circuito fechado, os elétrons fluem do ânodo, o qual é oxidado, para o cátodo, onde os elétrons são aceitos, fazendo cátodo ser reduzido (Figura 2a). O

circuito elétrico é completado no eletrólito por um fluxo de ânions (íons negativos) e cátions (íons positivos) para o ânodo e cátodo, respectivamente (REDDY, 2002). Durante a recarga de uma bateria secundária ou no armazenamento de energia, o fluxo de corrente é invertido e a oxidação ocorre no eletrodo positivo e a redução no eletrodo negativo, conforme mostrado na Figura 2b (REDDY, 2002).

As baterias são classificadas por sua operacionalidade. As baterias primárias têm por característica principal de não serem recarregáveis, como a pilha de *Leclanché* (zinco/dióxido de manganês). Todas são fabricadas hermeticamente fechadas, tendo uma padronização internacional no que diz respeito a suas dimensões e formas, como as cilíndricas, as do tipo botão e tipo moeda. Também existe a forma prismática, utilizada para aplicações especiais.

A Figura 3 elucida os principais tipos de bateria e seus tamanhos comerciais. Existe uma preferência pela forma cilíndrica devido a sua maior facilidade de produção se comparada com as demais formas (BOCCHI, 2000).

Figura 3 - Principais tamanhos e formas de baterias comerciais.



Equipamentos de uso doméstico, equipamentos portáteis, correspondem a 90% do mercado mundial do uso de pilhas. Dispositivos do tipo botão ou de baixa diferença de potencial, que são utilizados em relógios, câmeras fotográficas, aparelhos de surdez, computadores portáteis, microeletrônicos, além de equipamentos que possuem bateria fixa em sua estrutura; correspondem a 8% do mercado mundial (REIDLER, 2012)

Quando são baterias do tipo secundárias, ou também chamadas de

recarregáveis, um maior potencial aplicado na direção oposta faz com que a bateria recarregue (ARMAND, 2008). De acordo com Bocchi (2000), uma bateria é considerada do tipo secundária quando é capaz de suportar 300 ciclos completos de carga e descarga com 80% da sua capacidade. O autor ainda destaca que, ao contrário das baterias primárias, as secundárias são mais utilizadas em aplicações que requerem uma maior potência.

Segundo Varela (2002), a primeira descrição de uma bateria eletroquímica foi feita em 1800, pelo italiano Alessandro Volta. A partir dessa descoberta, as baterias foram inseridas no cotidiano e desde então houve um progresso na área de armazenamento eletroquímico de energia. Existe uma grande variedade de dispositivos englobados na categoria de baterias, como por exemplo: células metal-ar, metal-hidreto metálico (Ni-HM), níquel-cádmio (Ni-Cd), células térmicas, íons-lítio, entre outras.

Alguns conceitos devem ser destacados, como por exemplo, o tempo de operação que consiste basicamente a quantidade de tempo (horas, turnos ou dias) que a bateria pode ser usada do momento em que ela é carregada até o momento em que é totalmente descarregada. Esse tempo é medido em mili-Amperes horas (mAh) (PORCIUNCULA, 2012).

Segundo Schneider (2011), um importante parâmetro relacionado ao tempo de operação é o “*cut off*”, definido como o valor limite inferior de carga (capacidade) em que a bateria consegue fornecer uma tensão suficiente para o dispositivo manter-se operacional. Ou seja, quando a bateria atinge o valor de “*cut off*” ela não está totalmente descarregada, mas já não está mais disponível. Esse valor é importante, pois com ele é possível determinar o tempo de vida de uma célula, ou seja, o tempo que o sistema demora para atingir um determinado nível inferior de carga, não sendo mais capaz de fornecer energia elétrica para o sistema (PORCIUNCULA, 2012).

Outra consideração a ser destacada é o ciclo de vida do sistema, que consiste no número de ciclos de carga/descarga antes que sua energia seja consumida, não havendo mais reversão química gerando o descarte da bateria (SCHNEIDER, 2011). Esse aspecto está diretamente relacionado à escolha de materiais que podem ocasionar um maior ou menor ciclo de vida.

Em sistemas eletroquímicos secundários, pode ocorrer um problema na recarga explicado pelo “Efeito Memória”, que está relacionado ao fato das baterias baseadas em níquel (NiCd e NiMH) “lembrarem” o quanto elas haviam sido

descarregadas durante os últimos ciclos (POSSA, 2006). O fenômeno surge quando cristais de cádmio crescem dentro das células eletroquímicas reduzindo a superfície das placas, ocasionando uma redução na voltagem que é proporcional à área superficial. Em estágios avançados, os cristais podem crescer através do separador causando uma auto descarga ou até mesmo um curto-circuito interno (BUCHMANN, 1997).

As baterias estão sendo desenvolvidas para alimentar uma série, cada vez mais diversificada, de aplicações, desde carros a microchips (ARMAND, 2008).

No Brasil, são comercializados mais de 1 bilhão de baterias por mês, de acordo ainda com Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica - Abinee (2015), desse montante cerca de 40% das pilhas vendidas são ilegais. Essas pilhas ilícitas apresentam teores de metais pesados até dez vezes maiores do que permitido pela legislação nacional. Esse tipo de produto vaza facilmente e os metais pesados, por não se decomporem, acabam contaminando, solo, águas, bem como todo o ecossistema.

Destarte, pesquisas nessa área se fazem necessárias, tanto para a busca de alternativas mais econômicas como para outros caminhos que não sejam tão agressivos ao meio ambiente, contribuindo para que o consumidor final não opte por um produto classificado como “pirata” que pode ser extremamente nocivo ao ambiente. Oliveira (2018) de tal destaca que, de 2012 a 2016, no Brasil, menos de 55% das baterias e pilhas tiveram seus constituintes reaproveitados, sendo que o descarte inadequado de pilhas e baterias libera substâncias tóxicas como, cádmio (Cd), chumbo (Pb), mercúrio (Hg), níquel (Ni), lítio (Li), zinco (Zn) e manganês (Mn), afetando diretamente a saúde e ao meio ambiente, através da contaminação do meio biótico e abiótico. Dessa forma, se faz necessário mais estudos que busquem alternativas mais limpas nos constituintes desses sistemas eletroquímicos. Para uma otimização nessas pesquisas, estudos em Eco Design e Seleção de materiais devem ser feitos concomitante aos estudos de geração de microenergia, convergindo em resultados que possam gerar dados a futuros dispositivos menos agressivos ao meio ambiente.

2.3. ECODESIGN

Com a evolução da ciência e tecnologia, o meio ambiente, vem sendo afetado de forma negativa, por essa evolução. Dessa forma, o desenvolvimento da tecnologia deve estar atrelado à conservação, e têm sido um dos maiores paradoxos com a qual a humanidade tem de conviver.

No início do século XVIII, com a I Revolução Industrial, começou uma degradação desenfreada do ecossistema, iniciada e acentuada com o advento da globalização no Século XX. Somente na década de 60 começaram fortes questionamentos sobre essa exploração desenfreada do meio ambiente. A partir de então, o atual modelo econômico tem sido criticado por especialistas de diversas áreas. No famoso relato de cientistas que compunham o Clube de Roma, na década de 70, a relação entre consumo desenfreado dos recursos naturais com o crescimento demográfico e degradação ambiental foi explicitada: *The Limits to Growth - Os Limites do Crescimento* (MEADOWS et al., 1978).

Segundo Rampazzo (2001), “durante algum tempo, alguém ganha e alguém perde; e que, em longo prazo, todos perdem.” Ao se relacionar a demanda humana e a natureza, surge um importante instrumento para avaliar os impactos antrópicos no meio natural denominado “pegada ecológica”. Wackernagel e Rees (1996) relacionam as áreas produtivas de terra e água que são necessários para a produção de recursos, bem como a absorção dos resíduos gerados por um indivíduo, uma cidade ou um país, em um determinado estilo de vida, independentemente de sua localização. Ou seja, a pegada ecológica faz um contraponto entre o consumo dos recursos pelas atividades humanas, com a capacidade da natureza.

De acordo com World Wide Found for Nature (WWF,2014), em 2010, a “pegada ecológica global” era 18,1 bilhões de hectares, ou 2,7 hectares globais (gha) per capita. A capacidade de suporte total da terra era 12 bilhões de hectares, ou 1,7 gha per capita. Ocorreu um aumento de rendimento médio por hectare de áreas produtivas, devido a avanços tecnológicos, insumos agrícolas e técnicas de irrigação. Com isso, a capacidade total do planeta teve um aumento de 9,9 bilhões para 12 bilhões de hectares globais (gha) nos últimos 50 anos. Mas, em contrapartida, no mesmo período, a população mundial aumentou de 3,1 bilhões para 7 bilhões. Logo houve um retrocesso da capacidade de suporte disponível per capita, de 3,2 para 1,7 gha,

enquanto a “pegada ecológica” per capita aumentou de 2,5 para 2,7 gha. Sendo assim, mesmo com o aumento da capacidade global, não há “insumos” suficientes para todos.

É nesse cenário, que o Eco Design tem sua maior relevância, de acordo com Manzini & Vezzoli (2002), o Eco Design é a consideração dos aspectos ambientais no projeto de um produto, leva em conta todas as fases do ciclo de vida, que compreende sua fabricação, distribuição, utilização, reutilização, reciclagem e descarte final.

Dessa forma, deve-se buscar alternativas menos agressivas ao ambiente para a concepção de produtos. Manzini & Vezzoli (2002) destacam que estas alternativas voltadas para o Eco Design podem se aproximar mais da sustentabilidade se houver um equilíbrio entre a solução técnica e cultural. Ou seja, o design do produto deve ser contextualizado para que gere alternativas coerentes com os aspectos culturais e práticos, solucionando o problema, mas respeitando o ambiente no qual será inserido.

O designer também se torna responsável pela geração de alternativas conscientes que contribuam para que a sociedade possa escolher por opções que levem a um consumo sustentável (MANZINI & VEZZOLI, 2002). Para o desenvolvimento de um item sustentável, existem várias metodologias que abordam aspectos do produto, seus materiais e seu ciclo de vida. A metodologia de DfX (*Design for X*), onde “X” representa uma fase do ciclo de vida ou até mesmo uma característica do produto que será priorizada no projeto, é uma metodologia, que pode ser aplicada a favor de conceitos de sustentabilidade.

A maioria dessas metodologias de DfX abordam aspectos ambientais, seja de forma direta ou indireta. Vidales (2011) mostra uma representação gráfica (Figura 1). A Figura 4 sintetiza, de forma concisa, as principais abordagens do DfX e, percebe-se que a busca por materiais renováveis, com tecnologias limpas, não tóxicas, bem como a possibilidade de reuso, embora não objetivos diretos da metodologia, são fatores importantes em um design sustentável, que podem ser aplicados.

Figura 4- Diretrizes do Eco design aplicado ao DfX.

Design para Manufatura	■ ■ ■	Minimizar a quantidade, a variedade de materiais utilizados e a energia empregada na fabricação de um produto
Design para Montagem	■ ■	Utilizar materiais renováveis, reciclados e/ou recicláveis, com tecnologias limpas, selecionando-os, se possível, segundo a compatibilidade entre os mesmos e que possam ser separados de forma técnica e economicamente viável
Design para Modularidade	■	Evitar o emprego de substâncias tóxicas
Design para Estocagem e Distribuição	■ ■ ■ ■ ■	Utilizar técnica de montagem em módulos
Design para Confiabilidade	■ ■ ■ ■ ■	Reduzir o número de peças constituintes e que as mesmas sejam multifuncionais
Design para Durabilidade	■	Reduzir as sobras de materiais na produção; reutilização de material e reavaliação de peças defeituosas
Design para Manutenção	■	Economizar recursos durante a utilização do produto (não subestimar a energia consumida durante a vida útil)
Design para Desmontagem	■ ■ ■ ■	Projetar o produto para que seja facilmente reparável, tanto do ponto de vista do processo de desmontagem em si, quanto da disponibilidade e possibilidade de substituir peças defeituosas e que possa ser melhorado
Design para Reuso e Remanufatura	■ ■ ■	Incrementar a durabilidade e o funcionamento do produto
Design para Reciclagem	■ ■ ■ ■ ■	Embalar segundo um sistema otimizado
	■ ■ ■ ■ ■	Facilitar a reciclagem do produto por meio da facilidade de desmontagem e da identificação de todos os constituintes
	■	Reduzir o consumo de energia na reutilização

Fonte: adaptado de Vidales (2011).

Com base nas diretrizes do Eco Design, aplicando abordagens de DfX, ao favor de objetivos sustentáveis, este trabalho abordará os conceitos de *Design for Environment*, e para isso, a seleção dos materiais é um tópico importante a ser levantado.

2.4. SELEÇÃO DE MATERIAIS

Consoante a Ashby (1999), o design é a tradução de uma necessidade de mercado ou uma nova ideia em informações detalhadas que permitam a manufatura. Sendo que, em cada etapa do processo de desenvolvimento de produto, existem

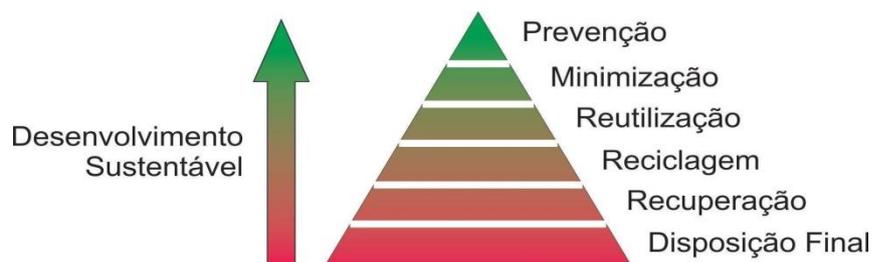
tomadas de decisões que vão consolidando o produto. Uma dessas deliberações é a seleção de materiais, que usualmente é definida pelo projeto, mas, em alguns casos, pode ocorrer que a evolução do produto ou demanda do mercado fazem possível o uso de um material alternativo.

Dessa forma, para que as diretrizes do *Design for Environment* (DfE) sejam respeitadas, a seleção de materiais se torna a etapa primordial no processo de desenvolvimento de um produto. Conforme Ljungberg (2007), a sustentabilidade de um produto está diretamente ligada aos materiais usados no seu desenvolvimento.

Kindlein (2002) discute que a seleção do material adequado é fundamental no desenvolvimento do projeto, sendo que o bom desempenho do produto final é consequência direta desta etapa. Ainda quando se fala na importância da seleção de materiais, Ljungberg (2003b, 2007), relata que a seleção do material deve otimizar o produto levando em conta os métodos de produção, demandas estruturais, de função, mercado ou usuários, forma, preço, impacto ambiental, bem como aspectos do ciclo de vida do produto.

Tendo em vista que cada vez mais existe um aumento da demanda por bens de consumo, tem-se a necessidade do emprego racional da gestão de materiais. Schneider (2009) criou uma hierarquia (Figura 5) cujo objetivo é conseguir o máximo benefício prático dos produtos e gerar a mínima quantidade possível de resíduos.

Figura 5 - Hierarquia da gestão de resíduos.



Fonte: adaptado de Schneider (2009).

O conceito mais importante da hierarquia é a prevenção da geração de resíduos, para isso um dos fatores primordiais é a seleção dos materiais que favoreçam melhorias nos processos, bem como pelo impedimento de descarte prematuro dos produtos. Ou seja, ao hierarquizar a gestão de resíduos objetiva-se

conseguir o aproveitamento máximo do produto, gerando a menor quantidade possível de resíduos.

Ljungberg (2003a) observa que são casos raros onde existe apenas um material considerado melhor para determinado produto, e que a escolha é influenciada não só por fatores de mercado, mas por fatores políticos, sociais e até pela experiência (ou falta) do designer.

Conforme Silva (2005), as exigências da sociedade têm sido os principais fatores para a escolha dos requisitos do projeto de um produto, destacando-se, a necessidade de se reduzir o consumo de energia, impacto no meio ambiente e o consumo sustentável.

Jacques (2011) destaca que mesmo havendo uma mudança na mentalidade dos consumidores, que atinja uma ética ambiental, ou de legislações mais restritivas, acompanhadas de mecanismos econômicos, as transformações nos processos produtivos, ou no metabolismo da sociedade, só ocorrerão com tecnologias e práticas que mudem a estrutura operacional da produção e do consumo. Nesse panorama o designer tem um papel importante na inclusão de produtos sustentáveis no mercado.

Para Ljungberg (2007), o desenvolvimento de produtos bem-sucedidos no futuro necessitará de um pensamento integrado. Relacionando demandas de mercado, custos e impactos ambientais, realizando uma conexão entre os materiais e o gasto energético, tanto na produção como no uso do mesmo.

Sendo assim, um dos objetivos da pesquisa envolveu a seleção de materiais, cujos critérios englobam conceitos, anteriormente expostos, tais como comparativo entre diferentes materiais, uso de materiais acessíveis e que busquem contemplar o topo da pirâmide da hierarquia da gestão de resíduos. Além de conceitos eletroquímicos que serão discutidos nos próximos capítulos do trabalho.

2.5. PRINCÍPIOS BÁSICOS DE UM SISTEMA ELETROQUÍMICO

Para o desenvolvimento de um sistema eletroquímico, alguns conceitos devem ser trabalhados, os quais serão apresentados a seguir.

2.5.1. Energia livre de Gibbs

Segundo Atkins (2001), quando ocorre uma reação existe um decréscimo da totalidade da energia (Energia livre de Gibbs), em termos matemáticos, ela é expressa de acordo com a equação (1):

$$\Delta G(\text{reação}) = -nFE^{\circ} \quad (1)$$

Em uma célula eletroquímica, se o valor de ΔG° se aproximar de zero, entende-se que ela está em equilíbrio, ou seja, os reagentes e os produtos encontram-se na mesma quantidade. Com isso Nerst conseguiu calcular a força eletromotriz de uma célula eletroquímica em função da energia livre de Gibbs:

$$\Delta G = \Delta G^{\circ} + RT \ln K \quad (2)$$

Combinando as equações (1) e (2):

$$E = E^{\circ} - \frac{RT}{nF} \ln K \quad (3) \text{ (Equação de Nerst)}$$

Onde

n = número de mols de elétrons que passam pelo circuito por mol da reação.

F = constante de Faraday (96500 C) ou (23,09 Kcal/V)

E° = Potencial Padrão

E = Potencial em condições não-padrão

R = constante universal dos gases (8,315 J K⁻¹ mol⁻¹)

K = Constante de equilíbrio

2.5.2. Capacidade teórica

A capacidade teórica de uma célula é expressa como a quantidade total de eletricidade envolvida em uma reação eletroquímica, e é definida em termos de Coulombs ou Amperes-hora. Teoricamente, 1 equivalente-grama de material vai liberar 96.487°C ou 26,8 Ah (TIACIANELLI,1998).

A Capacidade teórica também pode ser expressa em função de Watt-hora, tendo a tensão e a quantidade de eletricidade levados em consideração. Este valor da energia teórica é o valor máximo que pode ser entregue por um sistema eletroquímico específico é determinado de acordo com a equação (4):

$$\text{Watt-hora} = V. (\text{Ah}) \quad (4)$$

Com a capacidade nominal da pilha e a capacidade teórica pode-se obter por exemplo a massa de material ativo do eletrodo.

2.5.3. Fatores que influenciam a eficiência de um sistema eletroquímico

A taxa de reação tanto no cátodo como no ânodo deverá ser suficientemente rápida de modo que a taxa de transferência de polarização não seja elevada a ponto de tornar a célula inoperável (Reddy (2002)). Uma alternativa para esse requisito é a utilização de um design de eletrodo poroso, visto que a estrutura porosa de um eletrodo proporciona uma maior área de superfície de contato na mesma geometria e reduz a densidade das correntes locais para uma determinada corrente de operação total.

Além disso, a célula deve facilitar a transferência de massa para evitar a polarização, para isso, a porosidade adequada, tamanho dos poros do eletrodo, a espessura adequada e a estrutura do separador e a concentração dos reagentes no eletrólito são muito importantes para garantir a funcionalidade da célula.

O material do coletor do substrato ou da corrente deve ser compatível com o material do eletrodo e o eletrólito, sem causar problemas de corrosão. O design do coletor deve proporcionar uma distribuição de corrente uniforme e com baixa

resistência de contato para minimizar polarização do eletrodo durante a operação.

Outras características operacionais influenciam na eficiência de um sistema eletroquímico, como a temperatura de carga e descarga. Por exemplo, em células secundárias o armazenamento é mais acentuado com temperaturas elevadas, da mesma forma que a perda da eficiência é observada em baixas temperaturas.

2.5.4. Conceitos de Tensão de um sistema eletroquímico

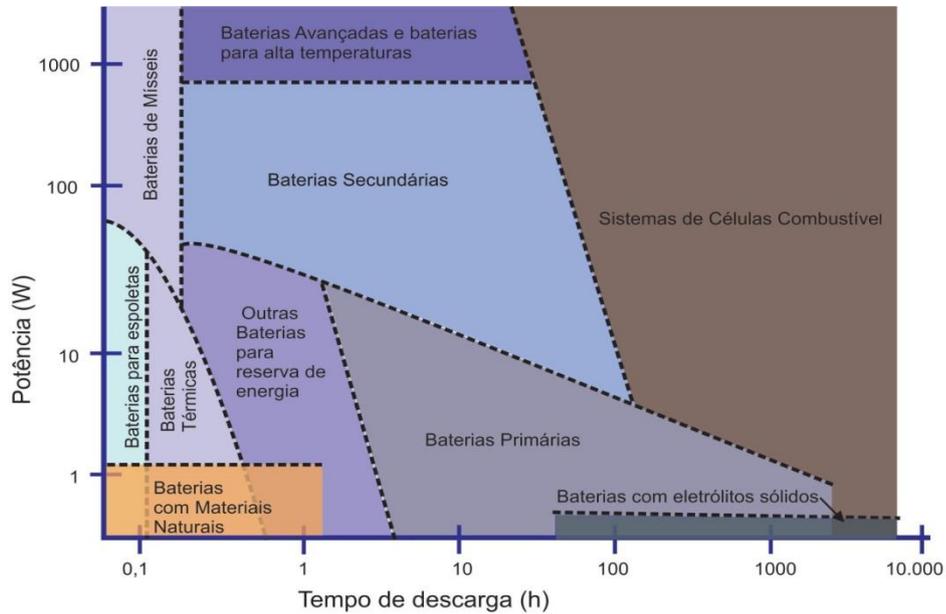
O Potencial Teórico é função dos materiais que compõem o cátodo e o ânodo, a uma temperatura de 25°C, já a tensão nominal é o valor operacional de uma bateria como, por exemplo, o valor de 1,5 V para uma bateria de zinco-dióxido de magnésio (LINDEN,1995).

O Potencial de circuito aberto é a tensão sob uma condição sem carga, que geralmente é um valor próximo da tensão teórica, enquanto a tensão de circuito fechado é a tensão sob uma condição de carga. A tensão de operação é um valor próximo da tensão real de funcionamento da bateria em carga, devendo ser menor que o valor da tensão de circuito aberto. Já a tensão média é a média dos valores de tensão durante a descarga, sendo que ponto médio de tensão é a tensão central durante a descarga da pilha ou bateria. A tensão final ou a tensão de corte é designada como o fim da operação de descarga (LINDEN,1995). Geralmente é a tensão acima do qual a maior parte da capacidade da célula ou bateria tenha sido entregue.

As baterias eletroquímicas têm grande importância nos mais diversos tipos de sistemas elétricos, pois a sua energia química armazenada é convertida em energia elétrica, podendo ser fornecida para estes sistemas onde e quando a energia é necessária. Atualmente, são inúmeras as áreas de aplicação destas baterias, por exemplo, na área de saúde, em marca passos; na área automotiva, em veículos híbrido-elétricos; na área de dispositivos eletrônicos móveis, entre outras (PORCIUNCULA,2012).

Um sistema eletroquímico atinge um vasto campo no que diz respeito à tensão gerada, em outras palavras, conforme o tipo de material, arranjo das células, tipo de bateria pode se produzir valor de escala micro energética a valores macro. A Figura 6 apresenta as principais aplicações dos tipos de baterias em função da tensão produzida.

Figura 6 – Relação dos tipos de baterias com sua capacidade



Fonte: Adaptado de AL-FETLAWI (2014).

Como se observa na Figura 6 que o foco da pesquisa está na microgeração de energia via “baterias com materiais naturais”, e embora o tempo de descarga seja baixo, ele tende a ser compensado pelo acesso a esses materiais naturais que compõem o eletrólito possibilitando assim sua substituição após encontrar-se inoperante na bateria. Mesmo que a produção de eletricidade a partir de eletrólitos com matérias naturais seja relativamente pequena, seria possível alimentar dispositivos que necessitem de níveis baixos de energia como lâmpadas de LED, ou algum dispositivo com USB, para ciclos de carga e descarga curtas.

Dessa forma, no presente estudo foram empregados materiais naturais que usualmente são utilizados para o consumo humano e com certa facilidade de aquisição. Esses materiais atuarão na constituição do eletrólito do sistema eletroquímico proposto.

2.6. ELETRÓLITO

Existem muitos fatores, além dos materiais envolvidos na reação eletrolítica, que afetam a eficiência de uma bateria. Nesses fatores incluem-se a formulação e

design do eletrodo, condutividade do eletrólito, natureza dos separadores, arranjo (paralelo ou série) e forma dos eletrodos. Pode-se dizer que o eletrólito é aquele material que ao dissolver-se em um solvente, origina uma solução com um valor de condutividade elétrica maior que o valor da condutividade do solvente (LOBO,1996).

Há algumas regras essenciais, com base nos princípios eletroquímicos, os quais são importantes na concepção de uma bateria ou célula combustível, para alcançar uma alta eficiência operacional com uma perda mínima de energia, entre elas, ressalta-se a da condutividade do eletrólito (REDDY,2002). A condutividade do eletrólito deve ser suficiente maior que a polarização de queda ôhmica, mas não ser excessivamente grande para uma operação prático.

Outro fator importante no que diz respeito aos eletrólitos é que o sais que comporem o eletrólito devem ter estabilidade química com os solventes para evitar reação química direta com o ânodo ou cátodo materiais (BATISTA,2011).

Os eletrólitos podem ser agrupados em função de suas propriedades físico-químicas: eletrólitos aquosos, não aquosos, líquidos iônicos, eletrólitos de polímeros sólidos e eletrólitos cerâmicos (LINDEN,1995).

A Tabela 1 mostra os principais valores de condutividade específica para vários sistemas de eletrólitos utilizados em baterias. As baterias são normalmente concebidas para aplicações de taxa de drenagem específicas, que vão desde microampères a várias centenas de ampères. Para cada tipo de material de eletrólito, uma célula pode ser concebida para ter uma melhor capacidade.

Tabela 1 – Sistemas Eletrolíticos

Sistemas Eletrolíticos	Condutividade Específica $\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$
Eletrólitos Aquosos	$1 - 5 \times 10^{-1}$
Sal fundido	$- 10^{-1}$
Eletrólitos Inorgânicos	$2 \times 10^{-2} - 10^{-1}$
Eletrólitos Orgânicos	$10^{-3} - 10^{-2}$
Eletrólitos Poliméricos	$10^{-7} - 10^{-3}$
Eletrólitos de Sólidos Inorgânicos	$10^{-8} - 10^{-5}$

Fonte: Linden (1995).

A formulação dos eletrólitos é desenvolvida para atender critérios de desempenho tais como a condutividade, estabilidade em faixas de temperaturas (alta e baixa) e faixas de tensão. Há muitos estudos que correlacionam relação entre os critérios de desempenho para seleção de espécies de solventes, as proporções dos

solventes, sais de eletrólitos, e aditivos. A escolha do eletrólito também tem significativo impacto em aspectos ambientais, bem como pode ter uma significativa influência sobre a segurança, estabilidade térmica, e durabilidade da célula (LINDEN, 1995).

Sendo que não só desempenho deve ser levado em conta, visto que alguns materiais de eletrólitos têm propriedades de desempenho superiores, mas apresentam toxicidade elevada, como por exemplo, LiAsF_6 .

Os eletrólitos aquosos são divididos em função do pH, podendo ser então alcalinos (valores próximos a pH 13), neutros (ou levemente ácido) e eletrólitos ácidos. Os eletrólitos neutros são geralmente compostos por sais de ácidos e bases fortes. Esse tipo de eletrólitos, juntamente com os ácidos são os mais usuais no mercado, como as pilhas *Leclanché* (comuns). O maior problema com eletrólitos aquosos é a corrosão do ânodo e a gaseificação do cátodo (LINDEN, 1995).

Já os eletrólitos não aquosos são divididos em: eletrólitos de solventes orgânicos e solventes inorgânicos. O principal campo para aplicação de eletrólitos de solventes orgânicos está em baterias de lítio e íon-lítio. Nelson & Green (1972) relatam que para a seleção do eletrólito, deve considerar como uma solução eletrolítica, sendo constituído por solvente e soluto. Nelson & Green (1972), ainda destacam alguns fatores para compor a solução são compatibilidade com solubilidade no solvente, baixo custo e facilidade de manuseio. Além disso, eles não devem reagir para formar qualquer produto sólido ou gasoso (NELSON & GREEN, 1972). O Quadro 1 mostra os principais solventes e solutos para formar uma solução eletrolítica.

Quadro 1 – Solutos e Solventes mais usuais do mercado.

Solutos	Solventes
Carbonato de Propileno (PC)	LiClO_4
Dimetilformamida (DMF)	LiCl
Gama-butirolactona (GBL)	AlCl_3
Dimetilsulfóxido (DMSO)	KPF_6
Acetonitrila (AN)	LiPF_6
Nitrometano (NM)	LiAlCl_4
Tetraidrofurano (THF)	LiBF_4
Acetona (A)	NaPF_6
N-Nitrosodimetilamina (NDA)	LiF
Etil carbonato (EC)	KSCN
Metil formato (MF)	

Fonte: Nelson e Green (1972).

Nota-se que na grande maioria dos casos, utilizam-se compostos com toxicidade elevada, logo o presente trabalho tem o foco na utilização de materiais naturais, reduzindo a contaminação gerada pelos materiais apontados no Quadro 1. Nesse sentido, embora a geração de energia seja menor, tem-se uma redução do uso de solventes industriais, que impactam negativamente no ambiente.

Assim, a pesquisa buscou materiais naturais que apresentem em sua composição sais que possam funcionar como eletrólito do sistema. Castle e Rouse (1990) avaliaram a presença de macro e micronutrientes em plantas cítricas e constataram a presença de N, P, K, Ca, Mg, entre outros sais em menores quantidades. Ainda segundo Rezende (2010) plantas com a folha verde-escura apresentam em sua constituição macro e micronutrientes como N, Ca, Mg e Cu se acumulando mais nas folhas, enquanto K, S, Fe, Mn e Zn se acumularam em maior quantidade nas raízes. E em contrapartida folhas de coloração mais clara apresentam déficit desses nutrientes.

Sendo então como critério de seleção para as folhas, utilizou-se análises sensoriais, onde buscou-se folhas de cor verde-escura e/ou com aroma cítrico.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

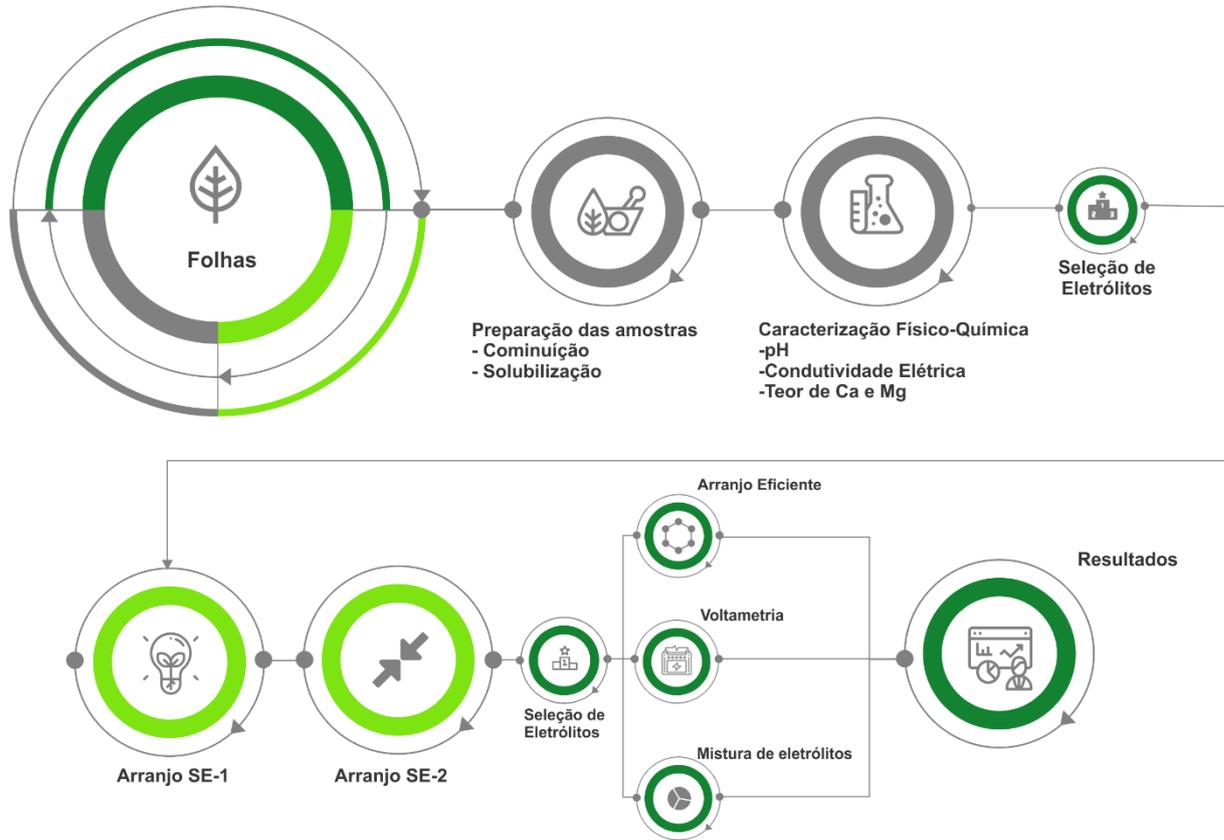
No presente capítulo são apresentados os materiais, equipamentos e métodos utilizados na pesquisa. Para o desenvolvimento deste trabalho foi estruturada uma metodologia que está apresentada na Figura 7, nessa figura encontra-se um organograma simplificado para a execução do trabalho.

Figura 7 – Fluxograma do processo de pesquisa.



A metodologia das análises foi estruturada em três grandes eixos: preparação dos eletrólitos, caracterização físico-química e geração de energia. A figura 8, ilustra todas as etapas que foram abordadas.

Figura 8 – Fluxograma do processo de pesquisa.



Conforme podemos observar na Figura 8, temos dois gargalos de seleção, o primeiro se deu após as análises de caracterização Físico-Química, já o segundo ocorreu após as simulações dos materiais como eletrólitos, arranjos SE-1 e arranjos SE-2.

3.1. SELEÇÃO DE MATERIAIS

Conforme discorrido, os eletrólitos aquosos podem ser alcalinos, neutros (levemente ácidos) e ácidos. Conforme já elucidado, um dos critérios de seleção dos materiais naturais, foi sensorial, onde o aroma cítrico foi utilizado. De acordo com Jayaprakasha & Patil (2007) os “Citros” são ricos em ácido cítrico, ácido ascórbico, compostos fenólicos, flavonoides, limonóides e sais. Consoante ao elucidado, além dos citros, selecionou-se plantas com folha verde escura, essa coloração indica que em sua composição há sais que possivelmente fornecerão boas características para

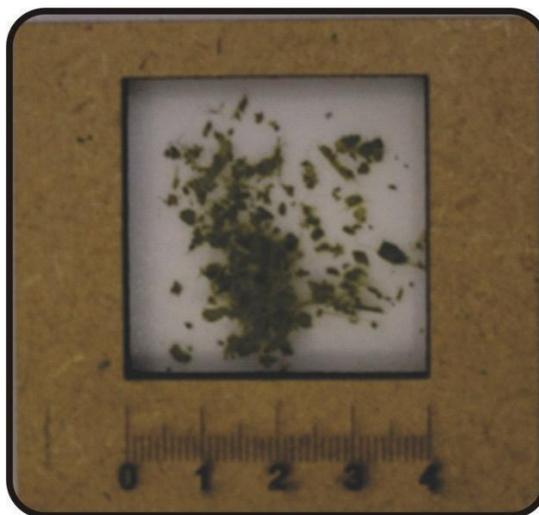
compor o sistema eletroquímico.

Dessa forma foram selecionadas as folhas dos seguintes materiais: Limão, Laranja, Bergamota, Pitanga, Hibisco, Abacate, Ameixa, Amora, Pêssego e Goiaba. Assim, essas folhas tendem a se enquadrar nos critérios básicos de um produto sustentável, ou seja, economia, sociedade e meio-ambiente, além de serem uma fonte renovável de fácil acesso, pontos estes, que são norteadores para o Eco Design aplicado ao projeto de produto.

3.2. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Os materiais selecionados foram cominuídos (Figura 9) utilizando um liquidificador da marca Cadence (QUATRO LÂMINAS), do Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LdSM/UFRGS). Além de possibilitar uma melhor compactação, a cominuição aumenta a superfície de contato do material com os demais materiais que comporão o sistema eletrolítico.

Figura 9- Amostra Cominuída



A trituração facilita a liberação de água das folhas, ajudando na estruturação do sistema eletroquímico.

3.3. MEDIÇÃO DO pH

Para a medição do pH, foi pesado 10 g da amostra em béquer de 250 mL, e adicionado 100 mL de água deionizada. A solução foi submetida à agitação constante por 30 minutos. Após esse processo a amostra solubilizada ficou em repouso por 10 minutos, o sobrenadante foi escoado para um béquer e foi realizada a medição do pH utilizando um potenciômetro de bancada pH/ORP/mV modelo PHS-3D da marca SANXIN, imediatamente após a calibração do equipamento. Os valores de pH foram ranqueados e aqueles que apresentaram pH acima de 7,0, comumente chamado de levemente básico, foram selecionados.

3.4. MEDIÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

A medição da condutividade elétrica foi realizada com a mesma solução preparada para a medição pH. Para isso utilizou-se um condutivímetro de bancada modelo W12D da marca BEL, imediatamente após a calibração do equipamento. Os valores foram ranqueados do menor valor para o maior e combinados aos resultados de pH, serviram como critério de seleção.

3.5. DETERMINAÇÃO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO PELO MÉTODO DO EDTA

O método consiste em uma análise titrimétrica, onde o EDTA, é utilizado para a determinação da concentração de Magnésio e Cálcio. (VOGUEL, 1992).

3.5.1. Preparo de soluções

O sal de ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA) foi seco a 70°C por uma hora, após esfriar no dessecador foi transferido 3,52 g para um balão de 1 L e solubilizado com água deionizada.

Para a solução padrão de Cálcio, pesou-se 2,5 g de carbonato de cálcio (CaCO₃), diluído com 100 mL de ácido clorídrico (HCl) 4N e transferido para um balão

de 1 L e completado o volume com água deionizada.

A solução padrão de magnésio, foram pesados 3,5 g de Carbonato de Magnésio e solubilizado com HCl (4N), a solução foi transferida para um balão de 1 L e o volume completado com água deionizada.

3.5.2. Padronização do Ca e Mg

Retirou-se uma alíquota de 5 mL da solução de cálcio, a essa foi adicionada 100 mL de água deionizada, 2 mL de solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,2 M, 2 mL de solução de 5% de Cianeto de Potássio (KCN), 5 gotas de trietanolamina (TEA) e 5 gotas de solução de Calcon a 1%, em um erlenmeyer de 250 mL. Titulou-se com a solução de EDTA (0,01 M) até a solução adquirir a cor azul.

Para a padronização do Mg retirou-se uma alíquota de 5 mL da solução de magnésio, a essa foi adicionada 100 mL de água deionizada, 10 mL de solução tampão pH 10, 2 mL de solução de 5% de KCN, 5 gotas de trietanolamina (TEA) e 6 gotas de Preto de eriocromo T, em um erlenmeyer de 250 mL. Titulou-se com a solução de EDTA (0,01 M) até a solução adquirir a cor azul.

3.5.3. Determinação do cálcio e magnésio das folhas trituradas

Foi transferido 1g das folhas moídas de cada um dos materiais para um cadinho de porcelana e incinerado a 480°C até a obtenção de cinzas brancas. As cinzas foram solubilizadas com 10 mL de HCL (1:1) e colocado em banho-maria até secar. O material seco foi novamente solubilizado com solução de HCl (1:9) e aquecido próximo à ebulição, em seguida foi filtrado e o soluto foi transferido a um balão de 100 mL e a esse volume completado com água deionizada após resfriado.

Uma alíquota de 50 mL foi transferida para um béquer de 250 ml e adicionados 3 mL de cloreto férrico (com cerca de 1mg de Fe ⁺³, 1 mL de ácido acético (1:1), 2 gotas de vermelho de metila a 0,1% e duas gotas de solução de hidróxido de amônio (NH₄OH) (1:3) até a solução adquirir coloração amarela, sendo adicionado um excesso de 1 mL. Após, a solução foi aquecida até ebulição e permaneceu em ebulição por 5 min. O material foi filtrado ainda a quente e o soluto solubilizado em um

balão de 100 mL com água deionizada.

Novamente, uma alíquota de 50 mL foi transferida para um Erlenmeyer de 250 mL, completado o volume de 100 mL, foi adicionado 4mL de Hidróxido de Sódio 20%, 2 mL de solução de KCN a 5%, 5 gotas de trietanolamina e 5 gotas de Calcon 1%. Titulou-se com a solução de EDTA 0,01 M até que a solução se tornou azul. O volume gasto de EDTA é multiplicado pelo fator 0,4 fornecendo a quantidade de Cálcio na alíquota.

Para determinação de magnésio uma nova alíquota de 50 mL foi transferida para um Erlenmeyer de 250 ml, completado o volume de 100 mL, foi adicionado 5 mL de solução tampão pH 10, 2 M de 5% de KCN, 5 gotas de trietanolamina (TEA) e 6 gotas de 0,5 % de Preto de eriocromo T. Titulou-se com solução de EDTA 0,01 M até a solução ficar com a coloração azul, a diferença do volume gasto na titulação com o volume gasto na titulação do cálcio, multiplicada pelo fator de correção de 0,24, fornece a quantidade de magnésio.

3.6. CARACTERIZAÇÃO ELETROQUÍMICA

Montou-se um sistema eletroquímico (1-SE) balizados, com eletrólitos compostos de soluções com folhas de limão, laranja, bergamota, ameixa e hibisco trituradas, fios de cobre e fios de alumínio. As folhas trituradas foram compactadas manualmente dentro de um tubo cilíndrico de polímero, com tampa, e dimensões de 13 cm de comprimento e 1,5 cm de diâmetro, onde, montou-se a pilha experimental (Figura 10).

Figura 10- Sistema Eletroquímico 1-SE



Destaca-se que não foram feitas remoções mecânicas das folhas da solução para aumentar a aderência e a superfície de contato, proporcionando uma melhor condutividade iônica, bem como resistência elétrica.

3.7. ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO VOLUME DO ELETRÓLITO

Para analisar a viabilidade de um sistema eletroquímico com eletrólito orgânico com menor volume, e de fácil montagem, montou-se um sistema (2-SE) em um eppendorf com dimensões de 8 cm de comprimento x 0,7 cm de diâmetro que pode ser observado na Figura 11.

Figura 11 – Sistema Eletroquímico com menor volume de folhas



Foi feito um monitoramento por um período próximo a 80 dias, medindo-se a tensão e observando-se a degradação do material.

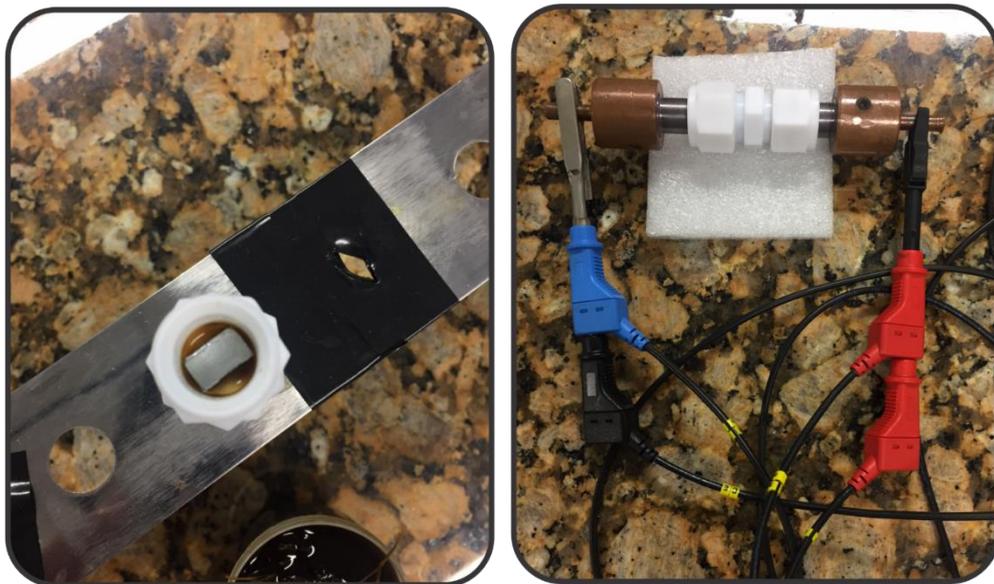
3.8. SISTEMA ELETROQUÍMICO COM MULTIMATERIAIS

Para analisar a viabilidade de misturas de materiais orgânicos em eletrólitos, foram selecionados os eletrólitos que apresentaram bons resultados de condutividade elétrica, sendo um na faixa alcalina desejada ($\text{pH} > 7$) e outro numa faixa diferente, sendo analisado as misturas, nas proporções de 75%, 50% e 25% em massa dos mesmos. Esse ensaio foi feito por um período de 40 dias.

3.9. POTENCIAL ÔHMICO

As perdas devidas ao potencial ôhmico estão relacionadas à resistência ao fluxo de íons no eletrólito e aos elétrons no eletrodo. Para analisar o comportamento da célula eletroquímica em circuito fechado foi montado uma célula composta de um cátodo de cobre, com uma área de $0,5 \text{ cm}^2$ e massa de $0,18 \text{ g}$ e um ânodo de alumínio, com mesma área e massa de $0,54 \text{ g}$, o eletrólito usado foi uma solução de folhas de limão, cujo preparo foi o mesmo para medição do pH e condutividade, um papel de mesma área foi embebido na solução e colocado entre o cátodo e o ânodo, esses foram colocados em um sistema de roscas para ter total vedação, como pode-se observar na Figura 12.

Figura 12- Sistema Eletroquímico para Voltametria



Conforme podemos observar na Figura 12, para realizar a análise, o sistema eletroquímico fica isolado dentro de um sistema de roscas que aproximam o ânodo e o cátodo, sendo separados por um papel embebido pelo eletrólito, evitando o contato direto do ânodo de cátodo, que geraria um curto-circuito.

3.10. ARRANJO EM SÉRIE

Para os testes preliminares, montou-se um sistema contendo 16 módulos

cilíndricos de 8 mm de diâmetro por 6 mm de altura, confeccionados em acrílico (Figura 13a,13b), esses módulos foram ligados em série para obter-se um maior valor de tensão.

Figura 13 – Arranjo das células eletroquímicas

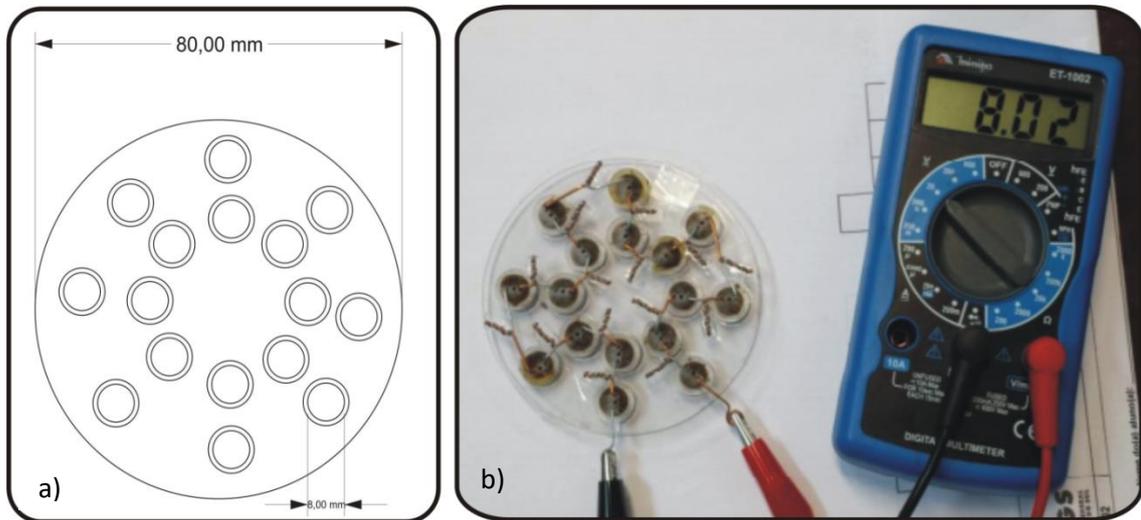


Figura 13a – Desenho técnico do arranjo das células eletroquímicas em cotas de mm.

Figura 13b – Sistema em operação.

A Figura 13a apresenta o desenho esquemático do sistema, com suas dimensões, enquanto a Figura 13b mostra o sistema fechado, tendo sua tensão medida com um potenciômetro.

4. RESULTADOS

Conforme metodologia explicitada, a seguir, apresentaremos os resultados das análises de caracterização e de microgeração de energia.

4.1. DETERMINAÇÃO ELETROMÉTRICA DO pH

A Tabela 2 apresenta os valores de pH medidos dos dez materiais selecionados para pesquisa, em análise tripla.

Tabela 2 – Valores de pH

Eletrólito	pH
Pitanga	5,6
Amora	6,3
Pêssego	6,40
Ameixa	6,5
Abacate	6,7
Goiaba	6,7
Hibisco	6,9
Laranja	7,7
Bergamota	8,1
Limão	8,3

De acordo os referenciais teóricos abordados, o sistema eletroquímico desenvolvido utilizou eletrólitos neutros a levemente alcalinos, para a escolha, os materiais foram ranqueados em função do valor de pH, conforme elucidado no capítulo 3, os materiais escolhidos são aqueles que apresentam pH na faixa de 7 a 8, sendo eles, Laranja, Bergamota e Limão. Além dos valores de pH é preciso que os materiais naturais em potencial possuam condutividade elétrica, para que assim possam realmente ser ensaiados como potenciais eletrólitos.

4.2. CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

Além da análise de pH, foi realizado o ensaio de condutividade elétrica para assim especificar o caráter elétrico dos eletrólitos. A Tabela 3 apresenta os valores de condutividade medidos dos dez materiais selecionados para pesquisa, a uma temperatura de 20 °C.

Tabela 3 – Valores de condutividade

Material	μS
Ameixa	1056
Pêssego	1156
Abacate	1225
Pitanga	1529
Goiaba	1533
Hibisco	1599
Amora	1748
Limão	1895
Bergamota	2140
Laranja	2320

Observa-se que os eletrólitos que apresentam um maior valor de condutividade são também os que estão na faixa de pH desejada: Limão, Bergamota e Laranja. O que converge na hipótese levantada na revisão bibliográfica que destaca que plantas citrus apresentam boa composição para eletrólitos.

4.3. DETERMINAÇÃO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO PELO MÉTODO DO EDTA

Como uma análise complementar, foi realizada a determinação de cálcio e magnésio dos eletrólitos, conforme a metodologia explicitada anteriormente, a Tabela 4, apresenta os resultados.

Tabela 4 – Concentração de Cálcio e Magnésio nas folhas

Planta	Teor de Ca (mg L ⁻¹)	Teor de Mg (mg L ⁻¹)
Limão	0,332	0,270
Laranja	0,331	0,298
Ameixa	0,225	0,198
Pêssego	0,115	0,132
Abacate	0,695	0,422
Pitanga	0,557	0,125
Goiaba	0,112	0,357
Hibisco	0,598	0,356
Amora	0,372	0,325
Bergamota	0,370	0,198

Segundo Bordignon (2003) o Magnésio, um componente da clorofila, está associado à pigmentação verde-escura das folhas. Já a presença do Cálcio nas folhas se dá na parede celular das folhas, dando resistência e estrutura, de forma análoga, entende-se que folhas duras podem apresentar maior teor de Cálcio em sua composição (COELHO,2007).

Conforme metodologia anteriormente exposta, selecionou-se sensorialmente folhas escuras e mais duras, que pela análise observou-se que as folhas selecionadas apresentam em suas composições teores consideráveis de Ca e Mg que podem colaborar com a condutividade elétrica do eletrólito. Destaca-se que as folhas de pêssego e ameixa apresentaram os menores teores de magnésio, foram também os que apresentaram os menores resultados de condutividade elétrica.

4.4. GERAÇÃO DE ENERGIA NO SISTEMA ELETROQUÍMICO

Foram construídas células de energia com os três materiais selecionados, limão, laranja e bergamota. Consoante à metodologia apresentada, os valores da tensão foram tabulados na Tabela 5.

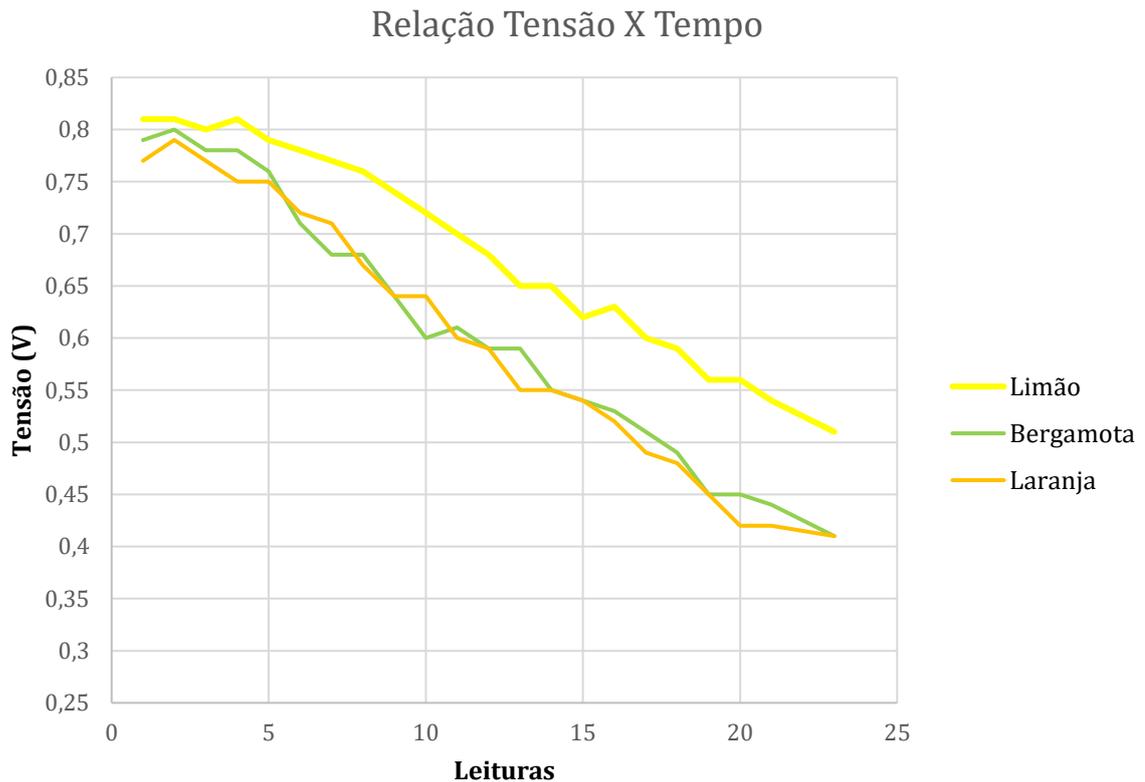
Tabela 5 – Valores do potencial de circuito aberto no decorrer do tempo

Dia	Bergamota	Limão	Laranja
1	0,78	0,80	0,76
2	0,79	0,81	0,77
3	0,79	0,81	0,76
4	0,78	0,80	0,77
5	0,79	0,80	0,74
6	0,77	0,79	0,74
7	0,77	0,79	0,73
8	0,74	0,78	0,70
9	0,73	0,78	0,71
10	0,74	0,77	0,68
11	0,72	0,78	0,69
12	0,69	0,76	0,68
13	0,69	0,76	0,66
14	0,67	0,75	0,65
15	0,68	0,76	0,63
16	0,67	0,73	0,63
17	0,67	0,70	0,62
18	0,66	0,69	0,60
19	0,64	0,68	0,57
20	0,64	0,69	0,54
21	0,63	0,66	0,54
22	0,64	0,66	0,48
23	0,62	0,63	0,44
24	0,59	0,64	0,44
25	0,58	0,63	0,41
26	0,58	0,60	0,42
27	0,58	0,60	0,38

As leituras foram feitas por um período de 78 dias, fazendo a medição a cada

3 dias. Observou-se que a tensão gerada foi relativamente baixa, as folhas de limão e bergamota apresentaram um melhor desempenho, para uma melhor visualização os dados foram plotados em um gráfico Figura 14, que apresenta de forma resumida os dados descritos na Tabela 5.

Figura 14 - Gráfico Relação de Tensão X Tempo (1-SE)



O gráfico evidencia o maior potencial dos eletrólitos com folha de limão, a queda do valor de tensão é menor ao comparada aos demais, embora os valores iniciais da tensão em circuito aberto dos três sistemas foram próximos, após alguns dias os valores dos eletrólitos de limão mostraram-se mais estáveis, permanecendo na faixa de 0,7 V enquanto os sistemas compostos com folhas de laranja e bergamota tiveram uma queda rápida.

4.5. REDUÇÃO DE VOLUME DE MATERIAL NATURAL

Consoante metodologia proposta para pesquisa, foi feita a análise de redução e volume do eletrólito, a Tabela 6 apresenta os resultados.

Tabela 6 - Valores do potencial de circuito aberto no decorrer do tempo com um volume de 4 cm²

Dias	Limão	Bergamota	Laranja
1	0,81	0,79	0,77
2	0,81	0,80	0,79
3	0,80	0,78	0,77
4	0,81	0,78	0,75
5	0,79	0,76	0,75
6	0,78	0,71	0,72
7	0,77	0,68	0,71
8	0,76	0,68	0,67
9	0,74	0,64	0,64
10	0,72	0,60	0,64
11	0,70	0,61	0,60
12	0,68	0,59	0,59
13	0,65	0,59	0,55
14	0,65	0,55	0,55
15	0,62	0,54	0,54
16	0,63	0,53	0,52
17	0,60	0,51	0,49
18	0,59	0,49	0,48
19	0,56	0,45	0,45
20	0,56	0,45	0,42
21	0,54	0,44	0,42
23	0,51	0,41	0,41

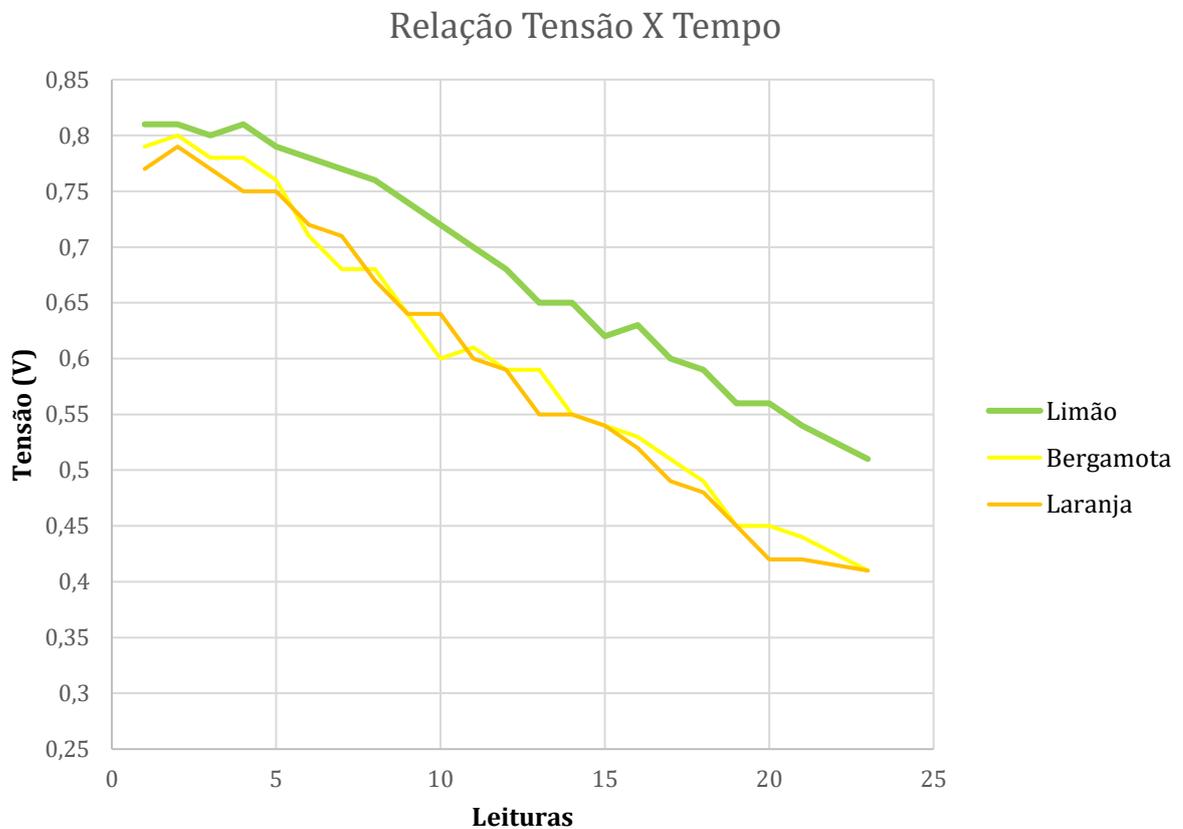
Os resultados apresentaram valores similares ao primeiro sistema (1-SE), cujo volume de folhas era maior (Tabela 5), tendo um desvio padrão médio de 0,102195, indicando uma consistência na tensão medida.

Ao comparar o resultado do sistema 1-SE (Tabela 5) com os resultados do sistema 2-SE (Tabela 6), nota-se que tanto nas baterias com maior volume de

eletrólito quanto as de menor volume, os valores de tensão são similares, entretanto as baterias com maior quantidade de material (1-SE), apresentam uma redução da tensão mais lenta em relação as menores (2-SE).

Logo a descarga da bateria em um sistema com folhas cominuídas será diretamente proporcional ao volume de folhas utilizado. Ainda assim, confirmou-se a possibilidade de operação de sistemas eletroquímicos com material orgânico com um volume menor. Para uma melhor compreensão os dados foram plotados na Figura 15.

Figura 15 – Gráfico Relação de Potencial X tempo (2-SE)



Em ambos os sistemas 1-SE e 2-SE, o sistema eletroquímico com folhas de limão é o que apresenta melhor performance, tanto com maiores valores de potencial, como maior estabilidade com o passar do tempo. Dessa forma, o eletrólito com folhas de limão foi selecionado para os ensaios de voltametria e de arranjo eficiente. Também foi analisado a combinação dele com outro material de pH 5.

4.6. MISTURA DE MATERIAIS

Conforme a metodologia exposta, foram analisadas as misturas de materiais como eletrólitos, e embora as folhas de laranja e bergamota apresentaram maior condutividade elétrica, as folhas de limão tiveram melhor desempenho quando simulados como eletrólito. Junto a ele foram selecionadas as folhas de hibisco e pitanga, por apresentarem um pH fora da faixa estabelecida como critério de seleção, mas com valores consideráveis de condutividade.

Após montar os sistemas iniciais, o sistema eletroquímico com limão e folhas de hibisco não puderam ter seus valores de potencial mensurados devido a degradação acelerada dos materiais, que ocorreu em menos de 1 h, Figura 16, o que inviabiliza suas futuras aplicações.

Figura 16 – solução com folhas de Hibisco

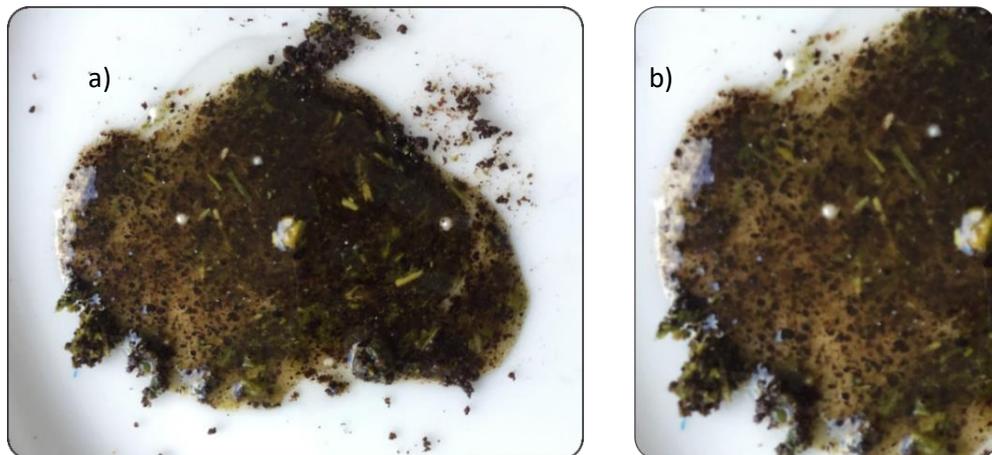


Figura 16a – Solução Folhas Hibisco
Figura 16b – Zoom da solução deteriorada

As folhas de hibisco ao serem cominuídas liberaram um coloide que dificultou o manuseio, e quando misturado com folhas de limão rapidamente se degradou. Sendo assim, levando em conta os critérios do Eco Design, foram submetidos ao teste somente as misturas compostas de folhas de pitanga e limão.

A Tabela 7, apresentam os valores de Potencial em um período de 40 dias.

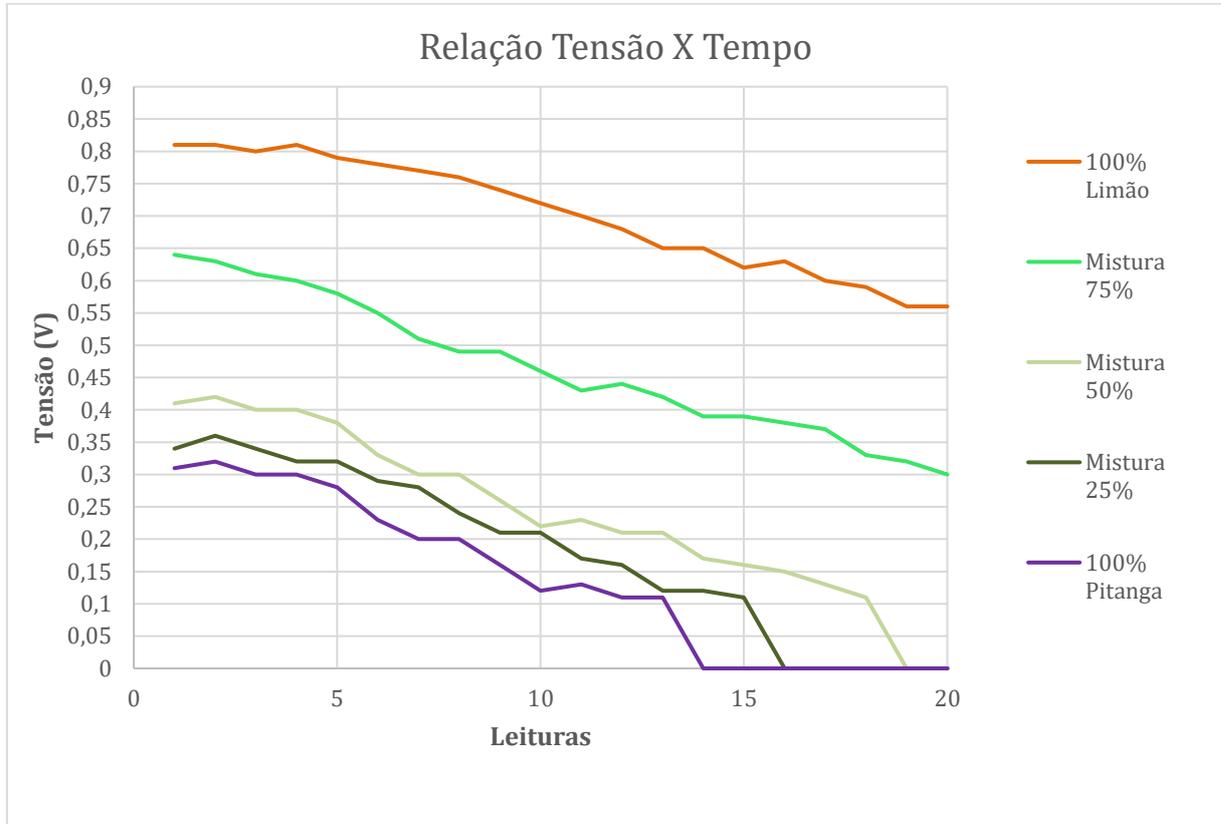
Tabela 7 - Valores do potencial de circuito aberto no decorrer do tempo de misturas de limão e pitanga

Dia	Limão 100%	Mistura 75%	Mistura 50%	Mistura 25 %	Pitanga 100%
1	0,81	0,64	0,41	0,34	0,31
2	0,81	0,63	0,42	0,36	0,32
3	0,8	0,61	0,4	0,34	0,3
4	0,81	0,6	0,4	0,32	0,3
5	0,79	0,58	0,38	0,32	0,28
6	0,78	0,55	0,33	0,29	0,23
7	0,77	0,51	0,3	0,28	0,2
8	0,76	0,49	0,3	0,24	0,2
9	0,74	0,49	0,26	0,21	0,16
10	0,72	0,46	0,22	0,21	0,12
11	0,7	0,43	0,23	0,17	0,13
12	0,68	0,44	0,21	0,16	0,11
13	0,65	0,42	0,21	0,12	0,11
14	0,65	0,39	0,17	0,12	0
15	0,62	0,39	0,16	0,11	0
16	0,63	0,38	0,15	0	0
17	0,6	0,37	0,13	0	0
18	0,59	0,33	0,11	0	0
19	0,56	0,32	0	0	0
20	0,56	0,3	0	0	0

Observa-se que na mistura de 75% de limão e 25% de pitanga houve um valor de potencial bem abaixo que um eletrólito composto integralmente de folhas de limão, as outras misturas em maiores quantidades de folhas de pitanga apresentaram um desempenho inferior, sendo que a mistura de 75% de folhas de pitanga parou de produzir energia com 20 dias de leitura.

A figura 17 mostra o comportamento das três misturas no decorrer do tempo.

Figura 17 – Gráfico Relação de Potencial X tempo de misturas



O ensaio com misturas de materiais, indica que somente a condutividade elétrica não pode ser um fator de seleção dos materiais que podem vir a compor um eletrólito, já que a pitanga apresenta valores consideráveis de Condutividade 1529 μS . Já a combinação de critérios como pH, condutividade e teor de Ca e Mg, são bons norteadores para essa seleção de materiais.

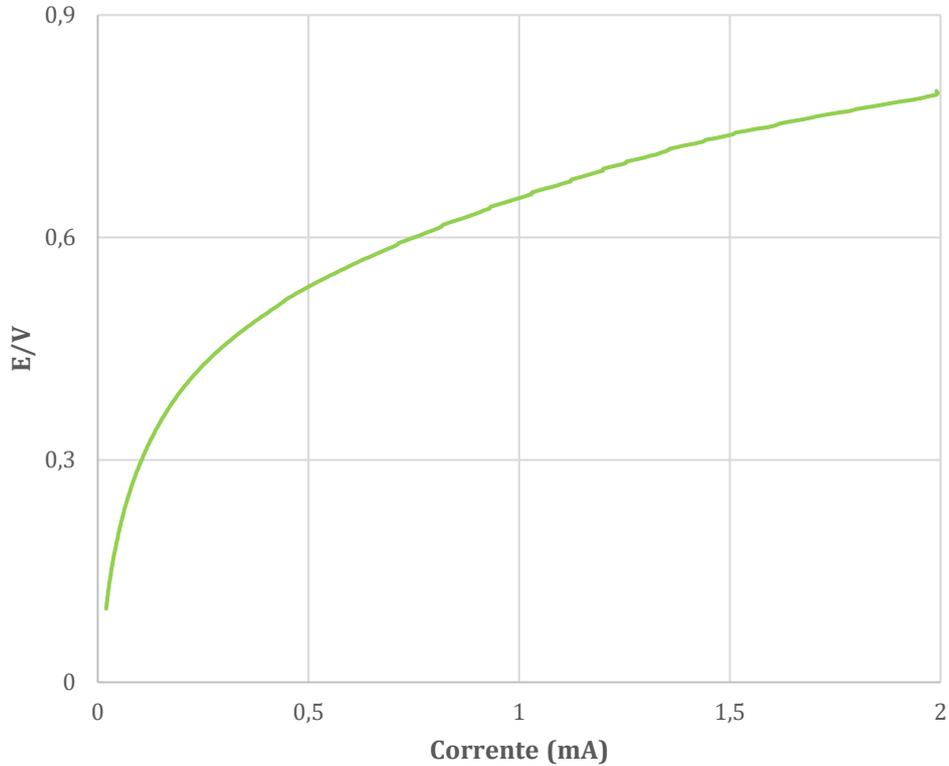
Além disso, conforme Souza (1997) folhas de limão além de possuírem Ca e Mg, apresentam ácidos orgânicos, que podem colaborar com uma melhor performance dos mesmos como eletrólitos, já que as folhas de pitanga apresentaram teores consideráveis de Ca e Mg.

4.7. CURVA DE POLARIZAÇÃO

Para analisar a queda da voltagem proporcional à corrente de descarga, foi feito uma análise da de resistência ôhmica do sistema eletroquímico composto de folhas de limão. A figura 18 representa seu potencial de saída em função de sua

corrente de carga, com um valor de OCP de -0,82 V, observa-se que para um valor de 0,5mA a uma queda mais brusca do potencial.

Figura 18- Curva de Polarização



Destaca-se que os valores de corrente embora sejam numa escala de mA, eles representam valores de apenas um sistema eletroquímico, ou seja, se combinados em um sistema com mais células empilhadas, o desempenho mostra-se bastante promissor.

4.8. ARRANJO EFICIENTE

Para um ensaio preliminar de um arranjo eficiente, montou-se o sistema proposto na metodologia e como substrato utilizou-se o as folhas de limão. Os valores de Potencial foram medidos e tabulados como se pode observar na Tabela 8.

Tabela 8 - Medidas de potencial do arranjo de células eletroquímicas

Dia	Potencial (V)
1	7,8
2	8,7
3	8,0
4	9,1
5	8,9
6	8,9
7	8,6
8	8,6
9	8,2
10	7,5
11	7,3
12	7,5
13	7,3
14	7,2

Com esse arranjo de 16 células associadas, houve um aumento considerável do Potencial gerada pelo sistema, além disso, a queda de potencial em função do tempo foi atenuada, no período de cerca de 50 dias o potencial máximo gerado medido foi de 9,1 V e a mínima de 7,2 V, gerando uma média de 8,11 V com Desvio Padrão de 0,682594, em 9 amostras.

Além de apresentar valores consideráveis de potencial em circuito aberto, a quantidade de material utilizado no eletrólito foi 7 vezes menor do que o sistema 1-SE, além da possibilidade de reposição simplificada, fatores importantes nos princípios do Eco Design, previamente discutidos na pesquisa.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pesquisas de novas alternativas para geração de energia, se tornam peças importantes no atual cenário mundial, no que se diz a baterias e pilhas, a busca de possibilidades também não é diferente, sendo uma alternativa para minimizar os problemas com o descarte de baterias usadas, já que estas não possuem chumbo ou cádmio na sua composição, o que vem a reduzir problemas relacionados à contaminação ambiental por metais pesados.

Nesse contexto, as informações técnico-científicas do potencial elétrico obtido a partir de células de energia formadas com substrato de origem natural, são um passo para mais estudos que possam vir a potencializar seu uso no design de produtos eletroeletrônicos.

Os materiais selecionados, foram folhas que apresentavam cor mais escura, que indicava a possível presença de substratos que podem formar compostos iônico e ou aroma cítrico ou indício de componentes desejados no eletrólito. Sendo assim, dez materiais foram ensaiados: folhas de abacate, amora, ameixa, bergamota, laranja, limão, goiaba, hibisco, pêsego e pitanga. Desses materiais, três apresentaram melhores condições de serem ensaiados como eletrólito: as folhas de limão, laranja e bergamota.

Isso porque, os três materiais apresentaram pH neutro a levemente alcalino, entre 7 e 8, bem como melhores valores de condutividade elétrica, além de concentrações satisfatórias de Ca e Mg que contribuem para um bom eletrólito, visto que facilitam a mobilidade iônica, o que é fundamental para o funcionamento do sistema eletroquímico. Cabe salientar que o Hibisco, apresentou pH próximo a faixa estabelecida e o maior de Cálcio, mas as folhas, ao serem cominuídas, geraram uma solução coloidal de difícil manuseio e de difícil aplicação e de rápida degradação.

Dessa forma, foram analisados os sistemas eletroquímicos contendo eletrólitos de folhas de laranja, limão e bergamota, sendo que os três materiais apresentaram desempenhos similares quando utilizados como eletrólitos em células eletroquímicas com dimensões maiores, em circuito aberto, e ao serem simulados em células eletroquímicas com menor volume, também em circuito aberto, o comportamento observado no primeiro ensaio foi similar.

Ao confrontar os dados obtidos entre o sistema 1-SE e 2-SE se observou que

a redução de volume não interferiu no potencial dos sistemas. Diante dessas constatações, buscou-se o design de um sistema eletroquímico compacto, levando em consideração uma forma geométrica cilíndrica. Essa forma foi escolhida devido à tendência formal das pilhas comercialmente disponíveis.

E embora os três materiais mostraram resultados bons, as folhas de limão obtiveram um desempenho melhor. E em uma análise de voltametria, os resultados foram satisfatórios e ratificaram a possibilidade de as folhas de limão serem usadas como eletrólitos.

O uso da associação de 16 células eletroquímicas com folhas de limão como eletrólito, em paralelo, obteve resultados consideráveis, no período de 50 dias que foi feito o acompanhamento a diferença de potencial teve uma queda baixa, comprovando haver um potencial do uso desse material na pesquisa.

Também foram analisadas misturas com 75% em massa de folhas de limão e 25% em massa de folhas de pitanga, 50% em massa de folhas de limão e 50% em massa de folhas de pitanga e 25% em massa de folhas de limão com 75 % em massa de folhas de pitanga, os resultados mostraram que mesmo a pitanga tendo um valor satisfatório de condutividade elétrica, as misturas desses dois materiais não tiveram bom desempenho, sendo que a mistura com maior proporção em folhas de pitanga, parou de produzir energia com trinta dias de leitura.

O que vem a convergir com outras pesquisas que citam que folhas de limão além de possuírem sais iônicos, como K, P, Ca e Mg, apresentam ácidos orgânicos, como o ácido Cítrico, Málico entre outros. Esses componentes podem estar corroborados para uma melhor performance dos mesmos como eletrólitos, já que as folhas de pitanga apresentaram teores consideráveis de Ca e Mg.

Neste sentido, podemos apontar que existem possibilidades de se utilizar materiais naturais para composição de eletrólitos em células de eletroquímicas como fonte geradora de microenergia, sendo um caminho a ser considerado para a composição dos eletrólitos que usualmente são tóxicos, como por exemplo o Lítio e o Cádmiio, e muitas vezes seus resíduos causam impactos graves ao ambiente.

Destaca-se que Folhas Citrus – Limão (pH-), Bergamota e Laranja apresentaram condições de serem ensaiados como eletrólitos, já que os valores de pH estavam na faixa desejada, além de apresentarem valores de condutividade elétrica (valores), e também por apresentarem substâncias que podem compor boas soluções iônicas.

Assim sendo, a presente pesquisa, obteve informações que podem nortear futuros trabalhos na área, bem como auxiliar no desenvolvimento de dispositivos que utilizem níveis de energia compatíveis com o resultado da pesquisa.

TRABALHOS FUTUROS

Visando o avanço nos estudos na área da microgeração de energia utilizando materiais naturais, seguem-se os seguintes pontos:

- a) Analisar outras possibilidades de sistemas eletroquímicos;
- b) Analisar o desempenho em circuitos fechados;
- c) Analisar a existência de uma relação do teor de ácidos orgânicos com o desempenho dos eletrólitos;
- d) Analisar outros materiais em potencial para serem eletrólitos;
- e) Analisar outras misturas de materiais naturais.

PUBLICAÇÃO DO TRABALHO

Os resultados da pesquisa foram publicados no International Journal of Advances in Engineering and Technology, volume 10, edição 5, páginas 541-550, no ano de 2017, sob o título Microgeneration of energy with electrolyte use organic substrate compounds.

REFERENCIAS

- ABINEE, Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. 2015. Disponível em: < <http://www.abinee.org.br/>>. Acessado em: 13 de set. de 2016.
- AL-FETLAWI, Hassan Abdul-Zehra. The electrolyte monitoring of a vanadium redox flow battery. **ECS Transactions**, v. 58, n. 36, p. 33-48, 2014.
- AKSANLI, B.; Rosing, T.S.; Monga, I, "Benefits of green energy and proportionality in high speed wide area networks connecting data centers," **Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition**, 2012, vol., no., pp.175,180, 12-16 March 2012. Doi: 10.1109/DATE.2012.6176458.
- AMARAL, Danilo. História da Mecânica - O motor a vapor. UFPB, 2010. CGEE – Centro de Gestão e Estudos Energéticos.
- ANTON, S. R.; SODANO, H. A. A Review of Power Harvesting Using Piezoelectric Materials (2003-2006). **Smart Materials and Structures**, Bristol, v.16, n.3, p.R1–R21, June 2007.
- ARMAND, Michel; TARASCON, J.-M. Building better batteries. **Nature**, v. 451, n. 7179, p. 652-657, 2008.
- ASHBY, Michael F. Materials Selection in Mechanical Design. Butterworth-Heinemann, Oxford, 2nd ed, 1999, 502 p.
- ASSUNÇÃO, Alice Maria Cepeda da. Integração de microgeração em larga escala nas redes de baixa tensão. 2008. Tese de Doutorado. Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e de Gestão.
- ATKINS, PETER. Físico Química–Fundamentos, 3ª edição. **LTC editora**, 2001.
- BATISTA, R. A. S. G. Fabrico e Caraterização de Baterias Recarregáveis de Lítio em Estado Sólido. **Universidade do Minho**, 2011.
- BOCCHI, Nerilso; FERRACIN, Luiz Carlos; BIAGGIO, Sonia Regina. Pilhas e baterias: funcionamento e impacto ambiental. **Química Nova na Escola**, v. 11, n. 3, 2000.
- BORDIGNON, Clara Venilda Melchior. OS MINERAIS DO CORPO: UMA VISÃO INTERDISCIPLINAR. **Arquivos do Museu Dinâmico Interdisciplinar**, v. 7, n. 2, p. 61-63.
- BROWN, Lester R. Eco-economia: construindo uma economia para a terra. Salvador,UMA, 2003.
- BUCHMANN, Isidor. **Batteries in a portable world: a handbook on rechargeable batteries for non-engineers**. Ec & M Books, 1997.
- CAMPBELL, Colin J. Forecasting global oil supply 2000-2050. **Hubbert Center Newsletter**, v. 3, n. 10, 2002.
- CASTLE, William S.; ROUSE, Robert E. Total mineral nutrient content of Florida citrus nursery plants. In: **Proc. Fla. State Hort. Soc.** 1990. p. 42-43.

CHARLTON, Corey. Germany PAYS people to use electricity: Excess energy created by wind and solar power meant consumers made a profit as prices were driven so low they went NEGATIVE. **Daily Mail Online**, Reino Unido, 11 mai. 2016. Caderno News. Disponível em: < <http://www.dailymail.co.uk/news/article-3584461/Germany-PAYS-people-use-electricity-Excess-energy-created-wind-solar-power-meant-consumers-profit-prices-driven-low-went-NEGATIVE.html>>. acessado em: 08 de ago. de 2016.

COELHO DE SOUZA, Celso et al. TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO COMO SUBSÍDIOS AOS ESTUDOS DE FLORESTAS IMPLANTADAS NO BRASIL; UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 4, 2007.

DE SOUSA, Ricardo Manuel Adriano. **Impacto da Microgeração na qualidade de energia de uma rede de baixa tensão**. 2009. Tese de Doutorado. MS thesis, IST, Lisbon.

DEBEIR, Jean-Claude; DELÉAGE, Jean-Paul; HÉMERY, Daniel. Uma história da energia. **Brasília: Editora da UNB**, 1993.

DEWI – Instituto Alemão de Energia Eólica. Wind resources Assessment Techniques. Course, Alemanha, 2002.

FARIAS, Leonel Marques; SELLITTO, Miguel Afonso. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. **Revista Liberato**, v. 12, n. 17, p. 07, 2011.

FERREIRA, Leila da Costa; FERREIRA, Lúcia da Costa. Limites ecossistêmicos: novos dilemas e desafios para o estado e para a sociedade. **Dilemas socioambientais e desenvolvimento sustentável**, v. 2, p. 13-35, 1995.

JACQUES, J. J. Estudo de iniciativas em desenvolvimento sustentável de produtos em empresas calçadistas a partir do conceito berço ao berço. Programa de Pós-graduação em Engenharia da Produção - UFRGS (tese de doutorado). 322 f. Porto Alegre, 2011. Doutorado em Engenharia de Produção UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil com período sanduíche em University of California, Berkeley.

JAYAPRAKASHA, G. K.; PATIL, B. S. In vitro evaluation of the antioxidant activities in fruit extracts from citron and blood orange. **Food Chemistry**, v. 101, n. 1, p. 410-418, 2007

KINDLEIN, Wilson Jr.; Etchepare, Hélio Dorneles; Ravazolo, Rafael Fabiano; SILVA, Fábio Pinto da. Desenvolvimento de uma interface amigável via internet: materiais e processos de fabricação para o design de produto. **P&D Design**, Brasília, 2002.

LINDEN, David; REDDY, Thomas B. Selection and application of batteries. **Handbook of batteries**, 1995.

LJUNGBERG, Lennart Y. Materials selection and design for development of sustainable products. **Materials & Design**, Volume 28, pg. 466–479, 2007.

LJUNGBERG, Lennart Y. Materials selection and design for structural polymers. **Materials & Design**, Volume 24, 383–390, 2003a.

- LJUNGBERG, Lennart Y., EDWARDSB, Kevin L. Design, materials selection and marketing of successful products. **Materials & Design**, Volume 24, pg. 519–529, 2003b.
- LOBO, V. M. M.; RIBEIRO, A. C. F.; ANDRADE, S. G. C. S. Diffusion coefficients of 301 electrolytes in aqueous solutions from Onsager-Fuoss and Pikal theories. **Portugaliae Electrochimica Acta**, v. 14, p. 45-124, 1996.
- MANZINI, Ezio & VEZZOLI, Carlo. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. São Paulo: edusp, 2002. 366 p.
- MEADOWS, DENNIS L.; MEADOWS, DANIELA; RANDERS, Jorgen. **Limites do crescimento**. Qualitymark Editora Ltda, 1978.
- McRAE, Hamish. O mundo em 2020. Trad. Luiz Carlos do Nascimento Silva. Rio de Janeiro: Record, 1998.
- MOREIRA, Helena Margarido; GIOMETTI, Analúcia Bueno dos Reis. Protocolo de Quioto e as possibilidades de inserção do Brasil no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo por meio de projetos em energia limpa. **Contexto internacional**, p. 9-47, 2008.
- MUNIZ, RAFAEL NINNO. **Desafios e oportunidades para o acesso universal à energia elétrica na Amazônia**. 2015. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Pará. Pará: UFPA.
- NAGAURA, T.; TOZAWA, K. Lithium ion rechargeable battery. **Prog. Batteries Solar Cells**, v. 9, p. 209, 1990.
- NAKICENOVIC, N. Energy Scenarios for Sustainable Development. Seminário Sustentabilidade na Geração e Uso de Energia. UNICAMP, fev. 2002.
- NAVARRO, Rômulo Feitosa. A Evolução dos Materiais. Parte1: da Pré-história ao Início da Era Moderna. **Revista eletrônica de materiais e processos**, v. 1, n. 1, p. 01-11, 2006.
- NELSON, Jeffrey T.; GREEN, Carla F. **Organic electrolyte battery systems**. HARRY DIAMOND LABS ADELPHI MD, 1972.
- OLIVEIRA, Kássia Francielli Soares de et al. **Impactos ao Meio ambiente e a Saúde Decorrentes do Descarte de Pilhas e Baterias Portáteis em Goiânia–GO**. 2018.
- OLSON, G. B. Beyond discovery: design for a new material world. **Calphad**, v. 25, n. 2, p. 175-190, 2001.
- PACHECO, Fabiana. Energias Renováveis: breves conceitos. **Conjuntura e Planejamento**, v. 149, p. 4-11, 2006.
- PORCIUNCULA, Cleber Mateus Duarte. **Aplicação de modelos elétricos de bateria na predição do tempo de vida de dispositivos móveis**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.
- POSSA, Paulo R.; PASSOLD, Fernando. Recarregador Inteligente de Baterias. In: **VII International Conference on Industrial Applications (INDUSCON 2006)**. 2006.

RAMPAZZO, S.E. In: D.F. Becher. (Org).2001. Desenvolvimento sustentável: necessidade e/ou possibilidade? 3ª ed. Edunisc, Santa Cruz do Sul. 238p.

REDDY, Thomas. **Handbook of batteries**. McGraw-Hill Pub., 2002.

REIDLER, Nivea Maria Vega Longo. Resíduos gerados por pilhas e baterias usadas: uma avaliação da situação brasileira, 1999-2001. 2002.

REZENDE, Cláudia Fabiana Alves et al. Crescimento e acúmulo de nutrientes em mudas cítricas cultivadas em ambiente protegido= Growth and accumulation of nutrients in citrus nursery in screen house. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 3, 2010.

SCHNEIDER, Keila Kleveston. **Modelos analíticos na predição do tempo de vida de baterias utilizadas em dispositivos móveis**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

SCHNEIDER, E.L.; KINDLEIN, W.J.; SOUZA, S.; MALFATTI, C.F. Assessment and reuse of secondary batteries cells. **Journal of Power Sources**. v.189, p.1264 - 1269, 2009.

SILVA, Everton Sidnei Amaral da. Um sistema Informacional e perceptivo de Seleção de Materiais com enfoque no Design de Calçados. Mestrado Profissionalizante em Engenharia ênfase: Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas. Porto Alegre, 2005.

SIMIONI, CA. **O uso da energia renovável sustentável na matriz energética brasileira: obstáculos para o planejamento e ampliação de políticas sustentáveis**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 300p.2006.

SINGH, R.; Gupta, N.; Poole, K.F. Global green energy conversion revolution in 21st century through solid state devices. **Microelectronics, 2008. MIEL 2008. 26th International Conference on**. IEE, vol., no., pp.45, 54, 11-14 May 2008.

SINGH, Rajendra; GUPTA, N.; POOLE, K. F. Global green energy conversion revolution in 21 st century through solid state devices. In: **Microelectronics, 2008. MIEL 2008. 26th International Conference on**. IEEE, 2008. p. 45-54.

SITHAN, Manimegalai; LAI, Loi Lei. Application of green technologies in developing countries—reduced carbon emission and conservation of energy. In: **2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting**. IEEE, 2011. p. 1-7.

SMITH, Nadia; MCCANN, Roy. Investigation of a multiple input converter for grid connected thermoelectric-photovoltaic hybrid system. In: **Green Technologies Conference, 2012 IEEE**. IEEE, 2012. p. 1-5.

SOUZA, Luciano da Silva; VIEIRA, Sidney Rosa; COGO, Neroli Pedro. Variabilidade dos teores de nutrientes na folha, entre plantas, em um pomar cítrico. **Revista brasileira de ciencia do solo**. Campinas. Vol. 21, n. 3 (jul./set. 1997), p. 373-377, 1997.

TAMEZ, Modesto; JULIE, H. Yu. Aluminum—Air Battery. **J. Chem. Educ**, v. 84, n. 12, p. 1936A, 2007.

TICIANELLI, Edson Antonio; GONZALEZ, Ernesto Rafael. **Eletroquímica: Princípios**

e Aplicações Vol. 17. Edusp, 1998.

TOLMASQUIM, Maurício Tiomno. **Fontes renováveis de energia no Brasil.** CENERGIA, COPPE-Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação em Engenharia, UFRJ-Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

VARELA, Hamilton et al. Materiais para cátodos de baterias secundárias de lítio. **Química Nova**, v. 25, n. 2, p. 287-299, 2002.

VIDALES, Lúcia Torres. Design para reciclagem: importância a partir da análise de óculos de sol. 2011. 98f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

VOGEL, A. I. **Análise química quantitativa.** 5. ed Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1992. 712 p.

VON BERTALANFFY, Ludwig. **Teoria geral dos sistemas.** Vozes, 1975.

WACKERNAGEL, Mathis; REES, William. 1996. **Our ecological footprint: reducing human impact on the earth.** 6ª ed. New Society Publishers, Canada, 160p.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE (WWF). 2016. Living planet report. Disponível em: < <http://www.panda.org>>. acessado em: 06 de set. De 2016.