

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**POTENCIAL DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL REUTILIZADOS PARA A
OBTENÇÃO DE MATÉRIA-PRIMA COM CARACTERÍSTICAS DE UMA CÉLULA
FOTOVOLTAICA**

ROGÉRIO BONETTE KLEPA

São Paulo - SP
21 de Maio 2019

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**POTENCIAL DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL REUTILIZADOS PARA A
OBTENÇÃO DE MATÉRIA-PRIMA COM CARACTERÍSTICAS DE UMA CÉLULA
FOTOVOLTAICA**

ROGÉRIO BONETTE KLEPA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Curvelo Santana
Co-orientador: Prof. Dr. Thadeu Alfredo Farias Silva

São Paulo –SP
21 de Maio 2019

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**POTENCIAL DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL REUTILIZADOS PARA A
OBTENÇÃO DE MATÉRIA-PRIMA COM CARACTERÍSTICAS DE UMA CÉLULA
FOTOVOLTAICA****BANCA EXAMINADORA**

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Curvelo Santana PPGEP Uninove

Co-Orientador: Prof. Dr. Thadeu Alfredo Farias Silva FEQ-Unicamp

Membro Interno: Profa. Dra. Rosangela Maria Vanalle PPGEP-Uninove

Membro externo: Prof. Dr. Maurício Lamano Ferreira PPGCIS-Uninove

Membro externo: Prof. Dr. Fernando Bersanetti Tobal DEP/ USP

Membro externo: Prof. Dr. Thiago Michel de Brito Farias UNIFESP

Membro suplente: Prof. Dr. Dario Henrique Alliprandini DEP/FEI

Membro suplente: Prof. Dr. João Alexandre Paschoalin Filho GeAS-Uninove

“Se não puder voar, corra. Se não puder correr, ande. Se não puder andar, rasteje, mas continue em frente de qualquer jeito.”

Martin Luther King

DEDICATÓRIA

Ao meu querido Tio Primo Carvalho, uma das pessoas mais inteligentes que convivi, e me ensinou a torcer para meu time do coração, Corinthians.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que nos ensina a sermos cada vez mais humildes. Aos meus queridos pais João Batista Klepa, Maria Rosária Bonette Klepa e, especialmente ao meus queridos tio Primo Carvalho e tia Maria Benedita Bonette, minha sogra Maria Auxiliadora Moreira Campos, meus avós Ana Szott Klepa, Antônio Casseiro Klepa, Aparecida Faria Bonette e Jovino Bonette ambos (in memoriam), irmãos Rodrigo Bonette Klepa e Ronaldo Bonette Klepa, tia Maria de Lourdes Bonette, Maria Helena Bonette Costa, sogro João Moreira Campos, e muitos outros com quem convivi e convivo, e sempre me apoiaram com suas inteligências emocionais e vivenciais.

A todos que contribuíram, direta e indiretamente, em especial à minha querida esposa e filho, Maria Aparecida Moreira Campos e Guilherme Campos Bonette Klepa, pois sem eles não concluiria este trabalho.

Especialmente ao meu orientador Prof. Dr. José Carlos Curvelo Santana que me ensinou química e física com inteligência, através de observações simples, essencial para desenvolvimento dessa tese.

Aos professores Prof. Dr. Silvério Catureba, Prof. Dr. Thadeu Alfredo Farias Silva e Prof. Dr. Thiago Michel de Brito Farias, que contribuíram com informações.

Agradeço os ensinamentos profissional e pessoal transferidos pelo Prof. Dr. Milton Vieira Júnior através de sua competência e carisma.

À Universidade Nove de Julho pela bolsa de estudos no Programa Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Aos colegas docentes e funcionários da Universidade Nove de Julho, pois sem eles não concluiríamos o elo de aprendizagem.

Agradecimento aos membros da banca examinadora pelo pronto atendimento ao convite.

A todos os colegas e amigos do Programa de Doutorado em Engenharia de Produção, em especial à Amanda Carvalho de Miranda, Alexandre Cezar Pires, José Carlos, Priscilla Moraes e Renato Logiudice.

RESUMO

A indústria da construção civil é um dos principais impulsionadores da economia de qualquer nação; contribui consideravelmente para o produto nacional bruto e tem um impacto significativo nas economias locais e regionais, gerando oportunidades de emprego e negócios nas regiões. Entretanto, a geração de resíduos de construção civil (RCC) nas grandes cidades é um problema para o qual ainda não existe uma solução ecologicamente correta, e quando esses resíduos são dispostos em locais irregulares, contaminam o solo e todos os ambientes ao seu redor. Com o intuito de minimizar os impactos ambientais do RCC, diversas pesquisas foram desenvolvidas, como o reaproveitamento da cerâmica e alvenaria na obtenção de sensores para orientação de trânsito, para aplicações radiológicas ou na substituição de produtos químicos em estações de tratamento de esgoto e a madeira tem sido usada na geração de energia. Vários semicondutores estão presentes na composição dos resíduos de construção, principalmente o silício que compõe a argamassa e a cerâmica. Estes, quando expostos à luz visível geram uma voltagem devido ao efeito fotovoltaico. Este trabalho teve como objetivo testar os resíduos da construção civil na obtenção de matéria-prima com propriedade semelhante a uma célula fotovoltaica (FV), como uma forma ambiental e economicamente viável de reutilizar esse resíduo. Para este fim, os RCC misturados a sais como CuSO_4 , CuO e NaCl foram calcinados em fornos de mufla. Estes corpos de prova foram expostos à radiação solar em dias claros e mediram sua temperatura, correntes, resistência e energia elétrica. As células FV foram classificadas de acordo com a eficiência na conversão em energia elétrica, de acordo com as normas brasileiras. A teoria de contabilidade de custos ambientais foi usada para mostrar que o processo de produção é ambiental e ecologicamente viável. Os resultados mostraram que todos os corpos de prova possuem propriedades adequadas para uma célula FV. Os rendimentos na conversão para energia variaram de 4 a 9%, classificando as células nas classes B (bom rendimento) e C (rendimento regular), demonstrando que é possível obter uma célula fotovoltaica a partir da RCC. Adotou-se como estratégia o preço de venda de R\$7,79 (US\$ 1,97) por apresentar metade do valor de uma célula FV comercializada, obtendo um lucro de R\$ 458.000,00/mês (US\$116,539). Conclui-se através desses fatos, que é possível obter uma célula fotovoltaica economicamente e ambientalmente viável a partir de reutilização de resíduos da construção.

Palavras Chave: eficiência energética; reutilização de resíduos; contabilidade de custos ambientais; célula fotovoltaica; resíduos de construção civil.

ABSTRACT**POTENTIAL OF WASTE FROM CIVIL CONSTRUCTION REUSED FOR OBTAINING RAW MATERIAL WITH CHARACTERISTICS OF A PHOTOVOLTAIC CELL**

The construction industry is one of the key drivers of any nation's economy; it makes considerable contribution to the gross national product and bears significant impact on the local and regional economies as large infrastructure projects such as road works can infuse employment and business opportunities into a region. However, the construction waste (CW) generation in big cities is a problem for which there is still no ecologically correct solution, and when this waste is disposed irregular place lead to contamination of the soil and all environments around it. In order to minimize the environmental impacts of the CW several researches have been developed, such as the reuse of CW masonry and ceramics contents in the thermoluminescent or radionucleic sensor or in the substitution of chemical products in sewage treatment plants and the CW wood waste is being used to generate energy. Several semiconductors are present in the composition of construction waste, mainly the silicon that composes the mortar and the ceramics. They when the exposure to visible light generates an electrical voltage in a semiconductor material is called photovoltaic effect. This work aimed to test the CW in obtaining a photovoltaic cell (PV), as an environmentally and economically feasible way to reuse this residue. To this end, the waste from the construction industry was calcined in muffle furnaces and copper salts, sodium chloride and a mixture of both salts were added to the surfaces. These proof bode were exposed to solar radiation on clear days and measured their temperature, currents, resistance and electrical power. The PV cells were classified according to their conversion efficiency in electric energy, as indicated by the Brazilian standard. Environmental cost accounting theory has been used to show that the production process is environmentally and ecologically viable. The results showed that all the specimens had properties suitable for a photovoltaic cell. The yields of conversion to elastic energy varied from 4 to 9%, classifying the cells in classes B (good yield) and C (regular yield), demonstrating that it is possible to obtain a photovoltaic cell from the CW. It was adopted as a strategy the selling price of R \$ 7.79 (US \$ 1.97) for presenting half of the value of a commercialized PV cell, obtaining a profit of R\$ 458,000.00 / month (US\$ 116,539). Concludes, through these facts, that it is possible to obtain a photovoltaic cell economically and environmentally viable from reuse of construction waste.

Key words: energy efficiency; waste reuse; environmental cost accounting; fotovoltaic cell; construction waste.

ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
CC – Créditos de carbono
CSP – Células solares de perovskita
CSO – Células solares orgânicas
CO₂ – dióxido de carbono
CIGS – Seleneto de cobre, índio e gálio
CPV – Fotovoltaica concentrada
CZTS – Sulfeto de cobre, zinco e estanho
d.d.p. – diferença de potencial
EE – Eficiência energética
EF – Efeito fotoelétrico
ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
FF – Fator de Forma
FF – Filmes Finos
FL - Fotoluminescente
FT-IR – Transformada de Fourier por infravermelho
FV – Fotovoltaico
FE – Fotoelétrico
G – Radiação solar incidente
GEE – Gases de efeito estufa
GEM – Gerador eletromagnético
Gr – Grafeno
H₂O₂ – Peróxido de Hidrogênio
hBN – nitreto de boro hexagonal
IED - Investimento estrangeiro direto
IV – Infravermelho
I-V – Corrente versus tensão
I_{sc} – Corrente de curto circuito
I_{RSC} – Corrente de referência de curto circuito
LED – Diodo emissor de luz
m-Si – monocristalino
p-Si – policristalino
MF – Módulo Fotovoltáico
MoS₂ – Dissulfeto de molibdênio
MME – Ministério de Minas e Energia
η - Rendimento
NGT – Nanogerador triboelétrico
PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem
POR – Pressão osmótica retardada
PV – Preço de venda
PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
P&D – Pesquisa e Desenvolvimento
PSC – Células solares de perovskita
QDSSC – Células solares sensibilizadas por pontos quânticos
RD – Resíduos de demolição
RF – radiofrequência

RCC – Resíduos de Construção Civil
RCD - Resíduos da Construção e Demolição
Si – Silício
SMC – Silício monocristalino
SPC – Silício policristalino
TL – Termoluminescência
TWh/ano – Terawatts hora por ano
UV – Ultravioleta
 V_{oc} – Tensão no modo vazio
Zn – Zinco
Zni – Interstício de retículo cristalino de Zn
ZnO – Óxido de zinco

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Recursos energéticos do planeta subdivididos e classificados em renováveis e não-renováveis.....	11
Figura 2: Diferentes processos que ocorrem no mecanismo de equilíbrio energético da Terra.....	11
Figura 3: Representação com vetores sobre o equilíbrio térmico apresentado na Terra, entre radiação recebida pelo Sol e irradiada pela Terra ao espaço.....	12
Figura 4: Ilustração das ondas de radiação solar eletromagnética emitidas pelo Sol.....	13
Figura 5: Representação de uma onda de radiação solar eletromagnética emitida pelo Sol....	14
Figura 6: Espectro de radiação solar, incluindo detalhe da faixa visível humana	14
Figura 7: Distribuição percentual de radiação solar incidente e formação dos gases de efeito estufa na Terra.....	15
Figura 8: Representação da curva da irradiância solar apresentada pelo meio dia solar	16
Figura 9: Médias mensais dos totais diários de irradiação global horizontal para cada região brasileira.....	16
Figura 10: Distribuição porcentual de utilização energética na matriz brasileira.....	22
Figura 11: Representa em (a) o efeito fotovoltaico e em (b) o efeito fotoelétrico.....	22
Figura 12: A heteroestrutura tem apenas 2 nanômetros de espessura, e apresenta uma eficiência quântica de 30%	22
Figura 13: Cor e aparência de material desenvolvido: (a) amostra final de ZnO (óxido de zinco) puro, e (b) amostras com duas concentrações diferentes de resíduos de cerâmica e alvenaria.....	23
Figura 14: Sensores usados no controle de tráfego em rodovias.....	23
Figura 15: Ilustra o primeiro transistor que funciona à base de calor no mundo, e surge juntamente com diversas aplicações.....	24
Figura 16: Ilustra sensor têxtil desenvolvido para medir fluxo de calor entre ambientes diferentes.....	25
Figura 17: Ilustra a eficiência(%) versus gap (eV) apresentada por alguns tipos de elementos químicos que são utilizados na construção de células FV.....	26
Figura 18: Ilustra o processo de ligação covalente na estrutura cristalina do átomo de silício com seus demais vizinhos.....	26
Figura 19: (a) Níveis discretos em distribuição eletrônica atômicas, separados por camadas. (b) Respectivamente da esquerda para direita, bandas de condução e valência em um isolante, semicondutor e um condutor.....	27
Figura 20: (a) Estrutura cristalina de silício puro se tornando um material do tipo “n” após a inserção do elemento químico pentavalente antimônio (Sb), deixando um elétrons livre. (b) Estrutura cristalina de silício puro se tornando um material do tipo “p” após a inserção do elemento químico trivalente boro (B), deixando uma lacuna ou buraco.....	30

Figura 21: Ilustra uma célula solar fotovoltaica pré-fabricada monocristalina (esquerda) e a direita célula solar policristalina.....	30
Figura 22: Processo de fabricação de uma célula fotovoltaica, da esquerda para direita, minério de silício puro, forno Czochralski, lingote de silício, fatias (wafers) e a célula fotovoltaica monocristalina.....	31
Figura 23: Representação da estrutura básica fundamental de uma célula fotovoltaica a partir da união de materiais do tipo “p” e do tipo “n”.....	32
Figura 24: Adaptado do esquema elétrico equivalente de uma célula fotovoltaica que alimenta uma carga com determinada impedância Z (carga) que irá utilizar a energia elétrica produzida pela célula FV.....	32
Figura 25: Representação cartesiana da curva característica de funcionamento de um semicondutor de silício.....	33
Figura 26: Representação gráfica da I-V (corrente – tensão) de duas células FV (1 e 2), apresentando FF (Fatores de Forma) diferentes.....	37
Figura 27: Representação da curva característica I-V e P-V para um módulo FV com potência de 1000Wp.....	37
Figura 28: (a) Gráfico I-V com diversas curvas com potência de radiação solar entre 400 e 1000 W/m ² de acordo com menor ou maior incidência de radiação solar. (b) Curvas com diferentes ponto de tensão e ponto de operação de potência máxima com aumento da temperatura do fabricante Canadian Solar CSI CS6P-265P - BR.....	40
Figura 29: (a) Curva I-V representativa de duas células FV ligadas em série. (b) Curva I-V representativa de duas células FV ligadas em paralelo.....	43
Figura 30: Comparações representativas de Curva I-V de módulos FV , partindo-se da parte inferior esquerda, 1 módulo FV, inferior direita 2 módulos FV ligados em série, superior esquerda 2 módulos FV ligados em paralelo, e na parte superior direita, 4 módulos FV ligados na configuração mista (série e paralelo).....	44
Figura 31: Célula solar híbrida desenvolvida a partir da troca de calor utilizando tubos preenchidos com água.....	45
Figura 32: Variação do preço das células fotovoltaicas de 1975 até 2015.....	48
Figura 33: Evolução de publicações de revistas ao longo dos anos elaborado a partir de pesquisa na Science Direct (1996-2020).....	54
Figura 34: Publicações das principais revistas versus a quantidade de cada uma delas.....	54
Figura 35: Fluxograma da pesquisa experimental elaborado a ser seguido.....	56
Figura 36: Agregados de resíduos da construção civil (RCC), identificado respectivamente na esquerda como RCC cerâmica e direita RCC alvenaria.....	55
Figura 37: Irradiação Solar no plano horizontal dos meses e a média na cidade de Guarulhos.....	59
Figura 38: Curva de emissão de luz termoluminescência (TL) para amostra de tijolo: (a) produzido em laboratório sem impurezas; (b) produzido em laboratório contendo ZnO comercial.....	67
Figura 39: Curva de emissão de luz TL para amostra de tijolo: (a) produzido em laboratório contendo ZnO produzido através do método de sol-gel; (b) produzido em laboratório contendo Acetato de Zinco.....	68

Figura 40: Curva de emissão de luz TL para amostra de tijolo contendo 9 % de ZnO	69
Figura 41: Curva de emissão de luz TL para amostra de tijolo contendo 4,5 % de ZnO	69
Figura 42: Curva de emissão de luz TL para amostra de tijolo contendo 4,5% de ZnO	69
Figura 43: Curva de emissão de luz TL para amostra de tijolo contendo apenas resíduos de RCC.....	69
Figura 44: Curva de emissão de luz TL para amostra de tijolo contendo 4,5% de ZnO	70
Figura 45: Curva de emissão de luz TL para amostra de tijolo contendo 4,5% de ZnO	70
Figura 46: Curva de emissão de luz TL para amostra de tijolo contendo 4,5% de ZnO	70
Figura 47: Curva de emissão de luz TL para amostra de tijolo contendo 7,7% de ZnO	71
Figura 48: Curva de emissão de luz TL para amostra de tijolo contendo 1,31% de ZnO	71
Figura 49: Curva de emissão de luz TL para amostra de tijolo contendo 7,68% de ZnO	71
Figura 50: Curva de emissão de luz TL para amostra de tijolo contendo 1,31% de ZnO	71
Figura 51: Curva de emissão de luz TL para amostra de tijolo contendo resíduos RCC de cerâmica e alvenaria.....	72
Figura 52: Curva de emissão de luz TL para amostra de tijolo contendo resíduos de cerâmica, alvenaria e 1,31% de ZnO.....	72
Figura 53: Intensidade de TL em função do tempo exposto à radiação UV para o tijolo contendo resíduos de cerâmica, alvenaria e 1,31% de ZnO	73
Figura 54: Imagem da tacha refletiva com dupla face nas cores branca, amarela e vermelha.	73
Figura 55: (a) Ilustra imagem obtida através de detector de elétrons retroespalhados (BSED) a partir de uma amostra da célula NaCl-NaCl desenvolvida. (b1) e (c1) ilustram picos dos elementos presentes na amostra analisada. (b2) e (c2), ilustram gráficos contendo as porcentagens de cada elemento em peso (massa).....	80
Figura 56: Representa a curva de irradiância solar apresentada pela amostra NaCl-NaCl	82
Figura 57: (a) Ilustra imagem obtida através de detector de elétrons retroespalhados (BSED) a partir de uma amostra da célula NaCl-ZnO desenvolvida. (b1) e (c1) ilustram picos dos elementos presentes na amostra analisada. (b2) e (c2), ilustram gráficos contendo as porcentagens de cada elemento em peso (massa).....	83
Figura 58: Representa a curva de irradiância solar apresentada pela amostra NaCl-ZnO	85
Figura 59: (a) Ilustra imagem obtida através de detector de elétrons retroespalhados (BSED) a partir de uma amostra da célula NaCl-CuSO ₄ desenvolvida. (b1) e (c1) ilustram picos dos elementos presentes na amostra analisada. (b2) e (c2), ilustram gráficos contendo as porcentagens de cada elemento em peso (massa).....	86
Figura 60: Representa a curva de irradiância solar apresentada pela amostra NaCl-CuSO ₄ ...	88
Figura 61: (a) Ilustra imagem obtida através de detector de elétrons retroespalhados (BSED) a partir de uma amostra da célula NaCl-CuO desenvolvida. (b1) e (c1) ilustram picos dos elementos presentes na amostra analisada. (b2) e (c2), ilustram gráficos contendo as porcentagens de cada elemento em peso (massa).	89
Figura 62: Representa a curva de radiância solar apresentada pela amostra NaCl-CuO.....	91
Figura 63: (a) Ilustra imagem obtida através de detector de elétrons retroespalhados (BSED) a partir de uma amostra da célula NaCl-MnO desenvolvida. (b1) e (c1) ilustram picos dos elementos presentes na amostra analisada. (b2) e (c2), ilustram gráficos contendo as porcentagens de cada elemento em peso (massa).	92
Figura 64: Representa a curva de irradiância solar apresentada pela amostra NaCl-MnO	94
Figura 65: Fluxograma de produção de matéria-prima para produtos absorptivos em uma pequena empresa.	98
Figura 66: Representação dos custos salariais com os demais custos.....	100

Figura 67: Composição percentual dos impostos e lucro real do preço da matéria-prima para produtos absortivos.....	101
Figura 68: Representa a relação do preço de venda versus a margem de lucro em porcentagens para identificação do preço de venda sugerido para o material absortivo.....	102
Figura 69: Representa a relação do lucro mensal (R\$/mês) versus o margem de lucro (%) para determinação do lucro mensal da produção do material absortivo.....	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Articulação entre o PBE, Selos e Lei de Eficiência Energética:.....	75
Tabela 2: Eficiência Energética dos Módulos Fotovoltaicos.....	77
Tabela 3: Comparativo apresentado pelas amostras de célula solar desenvolvidas referente a potência absorvida e eficiência.....	94
Tabela 4: Composição e custo com matéria prima para a obtenção das células com medida padrão 10x10 cm.....	96
Tabela 5: Consumo e custo com material para produção de uma célula.....	99
Tabela 6: Relação dos Custos Fixos.....	99
Tabela 7: Custos com pagamento de salários e encargos trabalhistas.....	100
Tabela 8: Resumo mensais da empresa.....	100
Tabela 9: Composição do preço da matéria-prima para produtos absorvíveis.....	101

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação das células fotovoltaicas quanto a 1, 2 e 3 gerações.....	42
Quadro 2: Eficiência Energética - sistema de energia fotovoltaica - módulos - edição 01/2016 através do PBE do Inmetro	60

SUMÁRIO

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa	3
1.2 Objetivos	8
a. Objetivo Geral	8
b. Objetivos Específicos	8

CAPÍTULO II

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 Fontes de Energia renováveis e não-renováveis	10
2.2 Recursos de energia do planeta Terra	10
2.3 Radiação Solar	12
2.4 Energias renováveis	16
2.5 Energia solar fotovoltaica (FV)	19
2.5.1 Estrutura microscópica de uma célula fotovoltaica (FV).....	25
2.5.2 Estrutura macroscópica de uma célula fotovoltaica (FV).....	30
2.5.3 Modelo matemático célula fotovoltaica (FV).....	32
2.5.4 Potência elétrica e rendimento.....	35
2.5.5 Eficiência (“ η ”) de uma célula fotovoltaica (FV).....	38
2.5.6 Tipos de células fotovoltaicas (FV).....	40
2.5.7 Célula solar híbrida.....	43
2.6 Desenvolvimento de novas células fotovoltaicas (FV) no mundo.....	46
2.7 Sustentabilidade aplicada a partir de reutilização de resíduos da construção civil (RCC).....	50

CAPÍTULO III

3. MATERIAL E MÉTODOS	53
3.1 Coleta dos dados Bibliográficos	53
3.2 Organização da pesquisa experimental	55
3.3 Materiais	57
3.4 Montagem dos corpos de prova	57
3.4.1 Coleta de dados e medição da eficiência energética.....	58

3.4.2 Identificação de material absorvivo utilizando Transformada de Fourier por Infravermelho FTIR.....	61
3.4.3 Identificação de material absorvivo utilizando Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	61
3.4.4 Análise de Custos.....	62

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
4.1 Estudo de propriedades reflexivas a partir de material RCC.....	65
4.2 Estudo das Normas Fotovoltaica (FV).....	74
4.3 Testes com célula solar NaCl – NaCl.....	79
4.4 Testes com célula solar NaCl – ZnO.....	82
4.5 Testes com célula solar NaCl – CuSO ₄	85
4.6 Testes com célula solar NaCl – CuO.....	88
4.7 Testes com célula solar NaCl – MnO.....	91
4.8 Análise de custos do material desenvolvido.....	95
4.9 Análise de viabilidade da produção do material absorvivo.....	96
4.9.1 Proposta de Processo Produtivo.....	96
4.9.2 Custos para a produção.....	98

CAPÍTULO V

5. CONCLUSÃO.....	105
5.1 Sugestões para trabalhos futuros.....	106
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108
APÊNDICE:	127
ANEXOS:	138
Anexo I: Publicações geradas por este trabalho	138

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

A preocupação mundial com as questões ambientais teve relevância no fim do século XX, causando impacto e degradação ambientais, escassez de recursos naturais, advindos de setores industriais, mas em destaque, a indústria de construção que fazem com que se comece a repensar e aplicar novos conceitos e soluções técnicas visando a sustentabilidade.

Problemas semelhantes ocorrem em todo o mundo segundo Ding et al. (2018). Reduzir a geração de resíduos e gases de efeito estufa (GEE), é sem dúvida, uma questão que está na pauta de qualquer governo.

Diversos setores geram resíduos e impactos ambientais, e segundo Esa et al. (2017), os resíduos das obras de construção incluem alto consumo de energia e recursos naturais, geração de resíduos sólidos, poluição e emissões de GEE, entre outros.

Estudos realizados por Menegaki & Damigos (2018), apontam pouco mais de 30% das quantidades de resíduos de construção e demolição (RCD) produzidos, são descartados em aterros, muitas vezes clandestinos, e sem tratamento.

Observando-se este cenário, Moreira et al. (2012), concluem que reciclagem e reutilização de resíduos sólidos produzidos em obras pode-se tornar ferramentas de gestão interessantes e alinhadas à ideia de sustentabilidade. Também agregam valor econômico aos resíduos e reduzem os custos de transporte desses resíduos para aterros sanitários.

Experimentos realizados por Medeiros et al. (2014) comprovaram que ao se reutilizar óleo lubrificante em massa argilosa para fabricação de tijolos, apresentou influência significativamente nas propriedades físico-mecânicas.

Uso excessivo de combustíveis fósseis, faz a sociedade mundial buscar soluções ambientais limpas através de aplicações voltadas para energias renováveis e sustentáveis (KLEPA, et al., 2016).

Segundo Carrera (2017), a utilização de energias renováveis, como a Solar, hidroelétrica, eólica, geotérmica, marés e biocombustíveis, entre outras, estão sendo implementadas progressivamente dependendo dos recursos específicos de cada país, do ajuste comercial e energético, proporcionais para os atuais 7,5 bilhões de habitantes em nosso

planeta. Para Chatzisideris et al. (2017) a energia Solar fotovoltaica (FV) é promissora para enfrentar os desafios apresentados pela sustentabilidade.

De acordo com Sampaio et al. (2016), a energia FV destaca-se por apresentar o desenvolvimento e comprometimento com a sustentabilidade e apontada como interessante aplicação voltada para energias renováveis e não-poluentes, pois as células FV são empregadas para converter a energia solar em energia elétrica.

Diversos estudos experimentais estão sendo realizados à nível mundial, entre elas, uma aposta interessante na substituição do silício por grafeno, com aplicações voltadas para o desenvolvimento de células FV por apresentar melhora significativa quanto ao rendimento.

Através desta tendência, Klepa (2012) realizou (P&D) pesquisa e desenvolvimento em mestrado ao qual descobriu-se através de experimentos, uma matéria-prima promissora que apresentou potenciais características tanto para reflexibilidade, quanto absorção de energia, sendo a segunda, excelente para aplicações voltadas para células FV.

Pesquisa promissora realizada por Yang et al. (2015), constaram que o material conhecido como perovskita, apresentou eficiência energética superior à padrão em torno de 20,2 %, reduzindo custos para produção de células solares em 20%.

Através dessas práticas, com foco em matéria-prima desenvolvida em mestrado (2012), que apresentou duas características dentre elas, refletivas e absorptivas a partir da reutilização de resíduos da construção civil (RCC), pensa-se em dar continuidade em estudos voltados à estudos bibliográficos, bibliométricos e experimentais aplicados a questões absorptivas, pois tal material apresentou-se como forte candidato para construção e/ou elaboração de FV, tornando-se a principal motivação para desenvolvimento e pesquisas para esta tese.

Desta forma, como não foi encontrada nenhuma Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) voltado e/ou aplicado diretamente à reutilização de RCC para gerar energia FV, pretende-se com isso, desenvolver um material inovador, que apresente características elétricas e funcionalidades semelhantes à uma célula solar FV convencional, e ao mesmo tempo, possa reduzir impactos sustentáveis, pois é elaborado a partir do RCC e da completa sustentabilidade que a célula terá por reduzir extração de recursos da natureza em sua fabricação, pois utiliza-se de resíduos em sua composição, podendo ser empregado até

mesmo, para contribuir com diversas aplicações voltadas para redução de energia na matriz energética.

1.1 Justificativa

A poluição e degradação ambientais, é um dos problemas somáticos enfrentado por todas as nações, que assola a humanidade desde o século XX. Desde então, os investimentos voltados para P&D a respeito, sejam integrais e/ou parciais, muitas vezes tornam-se insuficientes, devido ao aumento populacional.

Adams et al. (2017) comentou sobre a tendência dos recursos materiais se esgotarem, assim como, se tornar mais caros e escassos, à medida que a população humana se expande.

Questões ambientais e escassez de recursos naturais, segundo Wang et al. (2018), obriga não só a indústria de construção, mas diversas a explorar novos conceitos, técnicas e soluções voltadas para a sustentabilidade. A indústria de construção é uma das principais alavancas econômicas de qualquer nação; contribui para o produto nacional, impacto significativo no mercado local e regional, grandes projetos de infra-estrutura, obras rodoviárias podem infundir oportunidades de emprego e negócios, entre outros.

A indústria da construção produz grandes quantidades de resíduos e outros materiais inutilizáveis que são facilmente descartados. Os EUA geraram cerca de 170 milhões de toneladas de resíduos em 2003 de acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. A China gerou 1,13 bilhão toneladas de CO₂ em 2014, em relação à quantidade produzida durante o período de pico de construção do início de 2010 e, aproximadamente 120 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD) em 2006 (LU et al., 2017 e SILVA et al., 2017).

Agora, em relação à toda Europa, somente a indústria da construção é responsável por 30% de todo resíduo gerado (EUROSTAT, 2016). Esa et al (2017) comentam que o Reino Unido gerou uma quantidade de 200 milhões de toneladas de lixo em 2012, metade gerada por obras de RCD. Estima-se que na Malásia há uma produção diária de aproximada de 26.000 toneladas. Para Pappu et al. (2007), o volume de RCD gerados na Índia podem ser superior a 14,5 milhões de toneladas.

Dados recentes da Abrelpe (2016) apontam que mais de 123.000 toneladas por dia de RCD são geradas no Brasil, podendo ser maiores, já que os municípios reúnem apenas resíduos despejados ou abandonados em locais públicos.

Estima-se segundo Thongkamsuk et al. (2017) cerca de 13-30% de toda a deposição de resíduos sólidos em aterros em todo o mundo compreendem resíduos de construção e demolição e que os principais geradores de resíduos de construção são edifícios residenciais, que representam quase 70% do total de resíduos.

Pozas e González (2018) afirmam que um dos fatores para a geração de resíduos de demolição é a substituição de edifícios antigos por residências modernas, uma tendência que os autores vêem como um abandono do patrimônio cultural.

Além disso, o resíduo da construção é geralmente mais volumoso, pesado e ocasionalmente mais tóxico que o lixo doméstico. A eliminação de resíduos da construção em aterros sanitários ou lixões, pode parecer uma solução a curto prazo, mas pode, de fato, agravar as consequências ambientais a longo prazo.

Em alguns casos, os contratados recorrem a práticas inadequadas ou mesmo ilegais, como Wang et al., 2018:

- (i) despejo ilegal em áreas desertas;
- (ii) encobrimento de lixo em áreas arborizadas ou florestadas;
- (iii) resíduos de construção civil (RCC) misturados com lixo doméstico;
- (iv) descarte em locais abandonados;
- (v) despejo de RCC em cursos d'água; e
- (vi) queima de RCC;

Paralelo ao problema de ocasionado pela geração de resíduos, existe a eliminação em grandes áreas urbanas que degrada a paisagem e contamina o solo e a água com materiais perigosos, como o amianto, compostos orgânicos voláteis, entre outros (DE MAGALHÃES et al., 2017).

Para Paschoalin Filho et al. (2016), a indústria da construção civil tem importância significativa para o desenvolvimento do Brasil. Estima-se que o setor seja chega a gerar investimentos superiores a US \$ 90 bilhões por ano, bem como responsável pela criação de 62% dos empregos indiretos. A construção civil brasileira desempenha um importante papel social, pois contribui diretamente para reduzir os déficits de infraestrutura habitacional, essenciais para o progresso do país.

No entanto, Paschoalin Filho et al. (2016) e Donato et al. (2017) relatam que a indústria da construção é responsável por um consumo considerável de recursos naturais,

uma vez que muitos dos materiais utilizados, são obtidos por extração em depósitos naturais. Estima-se que em um metro quadrado de construção são necessários uma tonelada de materiais, demandando grandes quantidades de cimento, areia, brita, entre outros.

Outra fonte poluidora apontado por Tiepolo et al. (2018) é a produção de energia elétrica que em sua maior parte é produzida através de combustíveis fósseis e nuclear, mesmo que apresentando uma redução na matriz elétrica mundial, seguido de aplicações para fontes renováveis de energia elétrica, como a biomassa, eólica e solar. No Brasil, a geração de energia ainda é realizado através de fontes hidrotérmicas, termoelétricas e nuclear, seguidas de fontes renováveis como a biomassa e eólica, e com pouca participação, fonte termossolar e solar fotovoltaica (FV).

O Ministério de Minas e Energia (MME) (2016a) estima que o Brasil poderá necessitar em 2050 de uma geração de energia elétrica próxima à 1.605 TWh/ano, um acréscimo de 1.000 TWh/ano entre 2015 e 2050. Para atender essas limitações diante da matriz elétrica, deve-se realizar um planejamento de qual, e como aplicar cada uma das fontes renováveis disponíveis para cada região do Brasil, afim de atender as demandas futuras.

Entre eles, um dos maiores problemas sobre poluição enfrentados, é o descarte incorreto de resíduos da construção civil, que segundo Passarini et al. (2014), em sua maioria é destinado aos aterros sanitários. E, atualmente, medidas estão sendo tomadas para a diminuir esses rejeitos, como reuso na terraplanagem de estradas e compactação de solos em diversos tipos de construções.

Tais soluções, segundo Passarini et al. (2014), poderiam ser aplicadas por meio de soluções sustentáveis envolvendo os problemas causados na indústria civil, uma vez que degradam significativamente a qualidade de vida do meio urbano, consumindo entre 20 e 50% de todos os recursos naturais, renováveis ou não.

Uma aplicação interessante realizada por Medeiros et al. (2017) através de estudo sobre a viabilidade econômica de uma manta térmica produzida a partir do resíduo de asfalto com a finalidade de ser empregado na cobertura de telhados, que apresentou conforto térmico entre 68 e 72%, reduzindo-se o custo entre duas a cinco vezes, comparando-se as demais mantas atuais comercializadas.

Em relação as principais fontes de energia renováveis, pode-se citar a azul, biomassa, eólica, solar (termossolar e fotovoltaica), maremotriz, entre outras.

Em 2040, a população mundial se aproximará de 9 bilhões, e para atender a essa demanda, será necessário um acréscimo de 35% na oferta total de energia. Exigindo diversificação de recursos energéticos e inovações tecnológicas cada vez mais eficientes e confiáveis para o meio ambiente e assim tornar a matriz energética mundial sustentável (IEA, 2015 e PEDROSO et al., 2018).

Atualmente, o Brasil incentiva a utilização de diversos tipos de energias alternativas, entre elas a que mais cresce mundialmente, a energia solar FV em sua matriz energética, resuzindo-se a produção energia elétrica a partir de energias não-renováveis, e facilitando-a em locais remotos (GUEDES et al., 2009 ; COSTA et al., 2018).

Segundo o COSTA et al. (2018) o Brasil possui grandes reservas de quartzo e silício, matéria-prima essencial para a construção dos módulos fotovoltaicos (MF), e um considerável nível médio de irradiação solar 5,5 kWh/m²/dia, sendo (38%) maior do que na Alemanha.

Destaca-se a energia FV por apresentar um desenvolvimento e comprometimento com a sustentabilidade conforme apontado por Sampaio et al. (2016), como interessante aplicação voltada para energias renováveis e não-poluentes, pois as células FV são empregadas para converter a energia solar em energia elétrica. enfrentar os desafios apresentados pela sustentabilidade.

Segundo Dos Santos, et al. (2018) esforços têm sido direcionados ao aproveitamento da energia solar no Brasil, em particular sistemas fotovoltaicos, voltados a pequenos e grandes projetos, atendendo comunidades isoladas (remotas) da rede de energia elétrica entre outros, ao desenvolvimento regional.

Diversas técnicas são empregadas à nível mundial voltado para reutilização de rejeitos, mas uma interessante, descoberta matéria prima em estudos de mestrado realizado em 2012 sendo, que tal material apresentou duas características tanto reflexibilidade quanto absorção de energia a partir da reutilização de resíduos de construção civil (RCC), tornando-se a segunda opção inovadora e podendo ser promissora ao desenvolvido de células FV.

Quanto a reflexibilidade apresentada por tal matéria-prima desenvolvida em estudos recentemente comprovou-se a sua viabilidade no processo produtivo por ser 30 vezes menor que um material fotoluminescente (FL), ou seja, (sensor termoluminescente), utilizado em rodovias, e fabricado a um custo alto de US\$ 2,319 /kg.

Uma contabilidade demonstrou que ao se comercializar tal material reflexivo, poderá haver um movimento mensal de US\$ 1.545.893,72, obtendo-se um lucro mensal de US\$ 38.6473,43. Com isso, em 2017 foi solicitado a PI:BR10201700334, como patente verde, podendo ser aceita mundialmente através de um acordo entre países.

Para características absortivas, estudo direcionador desta tese, serão realizadas pesquisas bibliográficas, bibliométricas e experimentais, para indicar qual a melhor composição e/ou técnica poderão ser aplicados e utilizados para o desenvolvimento de uma matéria-prima que apresente características e/ou aplicações semelhantes à uma célula FV a partir da mistura de reutilização de RCC, e, havendo tempo hábil, uma contabilidade de custos para comprovar sua viabilidade e sustentabilidade.

Através dessas informações, e estudos direcionados para esta tese, pretende-se desenvolver tal matéria-prima, reutilizando-se de RCC de classificação II e inertes, em partes ou em sua totalidade, podendo-se até mesmo, através dessa prática, reduzir custos por não necessitar de matérias-prima retiradas da natureza, bem como reduzir a emissão de gases de efeito estufa (GEE), entre eles o gás carbônico (CO₂), através da logística reversa de transporte.

1.2 Objetivos

a. Objetivo Geral

Este trabalho visou obter uma matéria-prima com características semelhantes à uma célula fotovoltaica (FV) padrão através da mistura de resíduos de construção civil (RCC) utilizando-se de compostos químicos, que poderão ser reutilizado como parte integrante e/ou em sua totalidade para obtenção de uma célula solar FV economicamente viável e sustentável.

b. Objetivos Específicos

- Obter através de misturas do RCC uma matéria-prima economicamente viável e sustentável que poderá ser utilizada na construção de uma célula FV
- Expor as amostras de células FV desenvolvidas à radiação solar, e medir e /ou comparar e observar através de um multímetro suas características elétricas apresentadas;
- Calcular a média para potência horária (kW.h) através da coleta de 6 dias por mês das 8 às 18h;
- Variar os tipos de sais que compõem a superfície das células para verificar qual é a mais eficiente na conversão de energia solar em elétrica;
- Analisar as células fotovoltaicas usando microscopia de varredura eletrônica;
- Fazer a análise de custo da produção das células;

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo estará contextualizado o tema abordado, serão apresentados os principais trabalhos relacionados com desenvolvimento da pesquisa, os quais serviram como referência e motivação para realização deste trabalho.

2.1 Fontes de energia renováveis e não-renováveis

Evidentemente a utilização de fontes renováveis na matriz energética mundial vêm crescendo significativamente. Dentre os diversos fatores, a crescente demanda energética mundial, a perspectiva de escassez de recursos de origem fóssil e o esforço internacional para reduzir as emissões de GEE, responsáveis pelo aquecimento global, a energia solar e a eólica destacam-se mundialmente. Apesar do Brasil possuir abundância desses recursos em diversas regiões, essas fontes possuem características que impedem seu aproveitamento direto (DOS SANTOS, et al., 2018).

Segundo a EPE (2016) e Da Torre et al. (2018), 76% da oferta de energia no Brasil são de fontes renováveis. Considerado um dos índices mais altos do mundo, sendo 5,43 vezes maior que a média mundial, e 12,66 vezes superior à de países desenvolvidos. Além disso, possui clima favorável, grandes extensões litorais, mão de obra e espaço territorial.

As energias renováveis tendem a substituir gradativamente as não-renováveis, por emitirem menos CO₂ e ser mais sustentável.

Atualmente as energias renováveis expandiram-se, principalmente através da redução de custos aplicando-se o uso de energias solar fotovoltaica (FV) e eólica. O crescimento exponencial, dessas tecnologias renováveis continuam sendo importantes para o setor elétrico, porém, a eletricidade representa apenas 20% do consumo global de energia, enquanto em setores como transporte, construção e aquecimento permanece crítico (IEA, 2018).

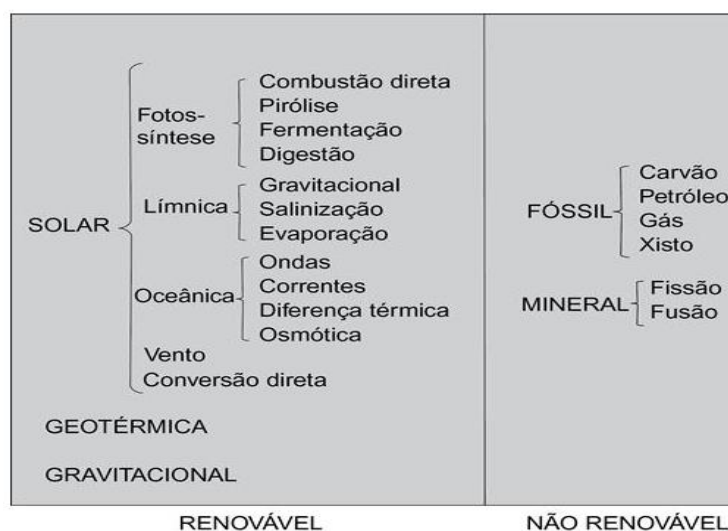
2.2 Recursos de energia do planeta Terra

Os recursos energéticos da Terra dividem-se em renovável e não-renovável. A energia solar é baseada principalmente na (fotossíntese, limnica, oceânica e vento), geotérmica e gravitacional pois possuem fontes renováveis inesgotáveis e não poluem o meio ambiente, ao

contrário de fontes de energia não-renováveis derivadas de elementos fósseis (carvão, gás, petróleo e xisto) e mineral (fissão e fusão) (ROSA, 2015; DOS SANTOS, et al., 2018).

De acordo com Rosa (2015) & Da Torre et al. (2018) a Figura 1 ilustra como os recursos energéticos do planeta estão subdivididos e classificados em renováveis e não renováveis.

Figura 1 – Recursos energéticos do planeta subdivididos e classificados em renováveis e não-renováveis.



Fonte: Rosa (2015) e Da Torre et al. (2018).

Rosa (2015) & Mendonça (2016) relatam que a entrada de energia na Terra provém em sua maioria de radiação solar, estimados em 173.000 TW (173.000×10^{12} W), que somados, apresentam mais de 99%, conforme demonstrado conforme Figura 2.

Figura 2 – Diferentes processos que ocorrem no mecanismo de equilíbrio energético da Terra.

Radiação solar 173.000 TW	Reflexão direta	52.000TW	(30%)	Radiação de onda curta	
		Conversão direta para o calor	78.000TW		(45%)
		Evaporação de água	39.000TW		(22%)
		Vento & ondas	3.600TW		(2%)
		Fotossíntese	40TW		(0,02%)
	Marés	3 TW		Radiação de onda longa	
	Geotérmicos	Vulcões & Fontes termais	0,3 TW		
		Condução na rocha	32 TW		

Fonte: Rosa (2015).

2.3 Radiação Solar

A emissão solar ou radiação solar de acordo com Gómez et al. (2018) e Carlesso et al. (2019) é o fluxo de energia emitida pelo Sol e transmitida sob a forma de radiação eletromagnética, que chega na atmosfera da Terra com $\sim 1.361 \text{ Wm}^{-2}$, apresentando uma média global de 340 W/m^2 .

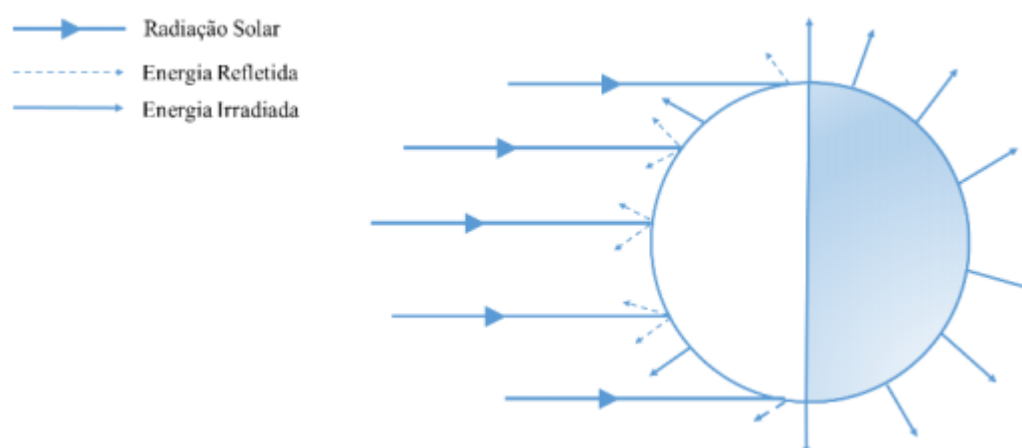
As medidas de radiação são denominadas como Irradiância Solar Total (TSI- *Total Solar Irradiance*) e Irradiância Solar Espectral (SSI -*Solar Spectral Irradiance*).

A TSI é definida como a potência total da energia proveniente do Sol por unidade de área a 1 UA (distância entre o Sol e a Terra conhecida como Unidade Astronômica).

As medidas podem ser realizadas em função do comprimento de onda (λ) e, utilizando-se da unidade de medida $\text{W m}^{-2} \text{ nm}^{-1}$, integradas para determinar a TSI.

Através da Figura 3, Souza Júnior (2018) demonstra através de vetores como a Terra irradia energia para o espaço na mesma proporção em que é irradiada pelo Sol, mantendo-se o equilíbrio térmico.

Figura 3 – Representação com vetores sobre o equilíbrio térmico apresentado na Terra, entre radiação recebida pelo Sol e irradiada pela Terra ao espaço.



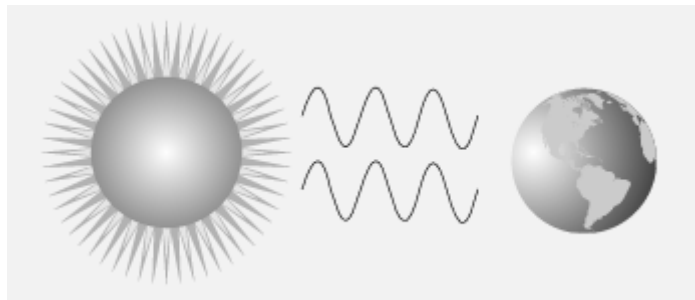
Fonte: Souza Júnior (2018).

A radiação solar, segundo Kreith & Bohn (1977), Villava (2015) e Kalogirou (2016) é um processo físico natural, partindo-se da transmissão do calor de um determinado corpo com temperatura alta para outro de baixa temperatura.

Raios solares são irradiados pelo Sol e, chegam ao nosso planeta através de radiação eletromagnética, ou seja, cada sinal senoidal possui um comprimento de onda (λ) dado em

metros (m) e uma frequência (f) dada em (Hz) diferentes, conforme ilustrado na Figura 4 e matematicamente apresentado através da Equação 1.

Figura 4 – Ilustração das ondas de radiação solar eletromagnética emitidas pelo Sol.



Fonte: Villalva (2015).

Matematicamente pode-se relacionar a equação de Plank-Einstein, para encontrar a Equação (1) que relaciona matematicamente a (h) energia e a (f) frequência:

$$E = h \cdot f \quad (1)$$

Em que,

E = Energia da onda expressa em joules [J] ou elétrons-volt [eV];

f = frequência em hertz [Hz];

h = constante de Plank com valor aproximado de $6.636 \cdot 10^{-34}$ J.s;

Pode-se ainda, relacionar a (f) frequência, o (λ) comprimento de onda e a (C) velocidade da luz (onda eletromagnética), conforme Equação 2.

$$C = \lambda \cdot f \quad (2)$$

Resultando em,

C = velocidade da luz no vácuo com valor de $3 \cdot 10^8$ m/s;

λ = comprimento de onda ou Lambda [m];

f = frequência em hertz [Hz];

A senoide representada pela Figura 5 a seguir, ilustra uma onda eletromagnética com suas características como velocidade e comprimento de onda relacionadas na Equação 2.

Figura 5 – Representação de uma onda de radiação solar eletromagnética emitida pelo Sol.



Fonte: Villalva (2015).

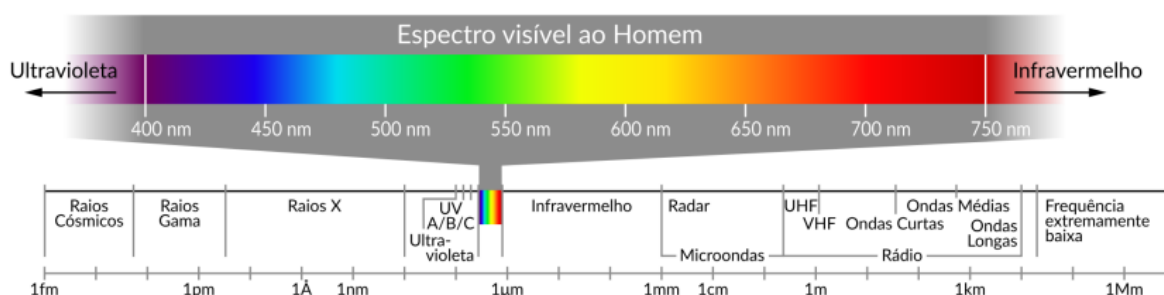
Apesar do Sol emitir radiação em todas as regiões do espectro, desde ondas de rádio a raios gama, nossos olhos possuem acuidade visual de menos de um oitavo (12,5%) dessa radiação, apresentando frequência e comprimento de onda respectivamente na faixa de 400 a 750 THz, ou (400 a 750 nm), região conhecida como visível (ROSA, 2015 ; ROSSI, 2018).

Rossi (2018) afirma que estudos sobre as radiações solar ultravioleta (UV), são importantíssimas para diversas áreas científicas e tecnológicas.

A radiação infravermelho (IV) compreendida entre 700 nm a 3000 nm é excelente para aplicações em fontes renováveis, pois representa 46,5%, sendo responsável pelo aquecimento de ambientes, entre outras aplicações.

A Figura 6 ilustra o espectro eletromagnético com seus respectivos comprimentos de ondas e frequências, desde ondas de rádio (frequências baixas), até raios gama (frequências altas).

Figura 6 – Espectro de radiação solar, incluindo detalhe da faixa visível humana.

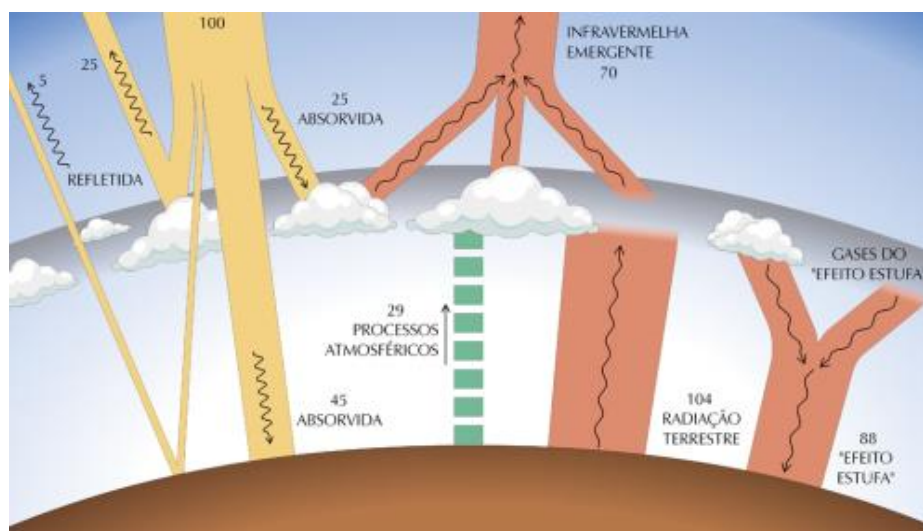


Fonte: Pereira et al. (2017).

A Figura 7 representa a distribuição percentual de radiação solar incidente na Terra. Desse total, somente 45% de radiação solar é absorvida na superfície da Terra.

Observa-se também o processo de espalhamento da radiação solar IV, e como é formado o efeito estufa.

Figura 7 – Distribuição percentual de radiação solar incidente e formação dos gases de efeito estufa na Terra.



Fonte: Pereira et al (2017).

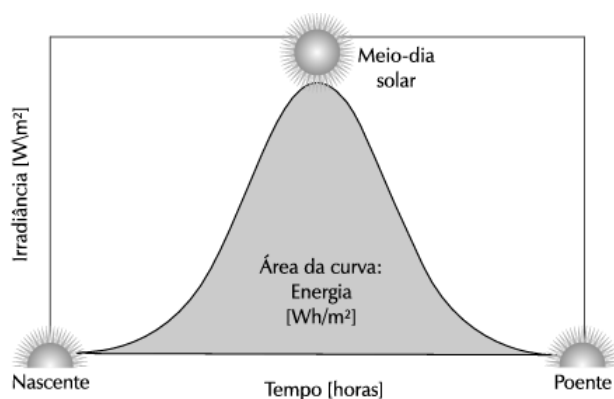
A radiação ou irradiação solar é uma grandeza expressa na unidade W/m^2 para quantificar a energia da potência por unidade de área em um determinado tempo, sendo representada pela unidade Wh/m^2 . Para estimar a irradiação solar diária usa-se a unidade $kWh/m^2.dia$ (VILLALVA, 2015 ; EIDT, 2018).

Processos físicos atenuam a radiação solar, fazendo com que 45% seja absorvida na superfície da Terra com um valor de aproximadamente $1.000 W/m^2$, exatamente o momento do dia em que o Sol está na posição mais elevada, ilustrado na Figura 8, em condições de céu claro (Ruther, et al, 2017 ; Pereira, et al., 2017).

Valores de até $1.400 W/m^2$ podem ser observados por períodos curtos de tempo em condições de nebulosidade parcial, bordas de nuvens ou efeito lente, causados pela geometria entre o Sol, nuvens e a Terra. Porém, observou-se uma irradiância global em torno de $1.822 W/m^2$, ou seja, 82% maior do que o meio dia solar representado na Figura 8.

Recentemente, Costa et al. (2018) apontam índices médios excelentes de irradiação no Brasil entre 4,25 a 5,50 $kWh/m^2/dia$, se comparados a países da Europa como Alemanha (2,5 e 3,4 $kWh/m^2/dia$) e, na Espanha, entre (3,3 a 5,1 $kWh/m^2 /dia$).

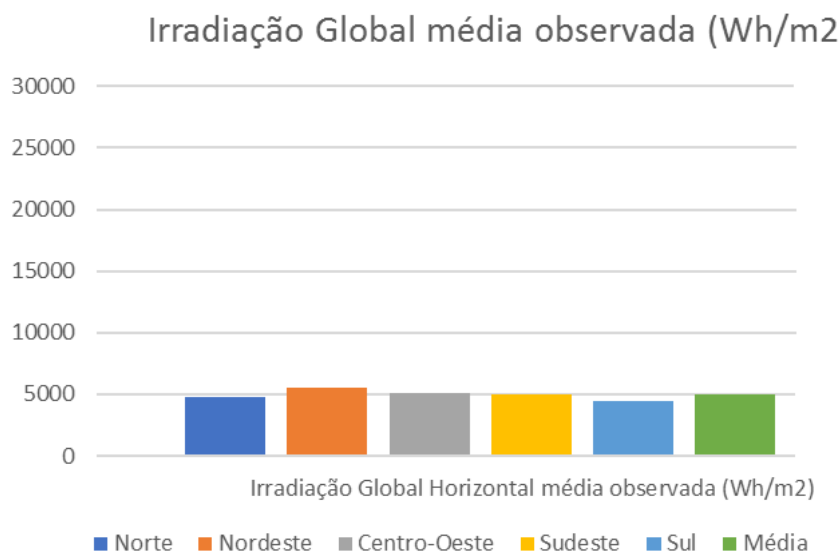
Figura 8 – Representação da curva da irradiância solar apresentada pelo meio dia solar.



Fonte: Villalva (2015) e Pereira et al. (2017).

Estudos realizados por Pereira et al. (2017) demonstram e confirmam pesquisas realizadas por Costa et al. (2018), através da Figura 9 a irradiação global média observada Wh/m^2 , apresentados por todas as regiões no Brasil. Pode-se observar também na Figura 9 proporção de 20% por região, do total de radiação recebida em todo o país.

Figura 9 – Médias mensais dos totais diários de irradiação global horizontal para cada região brasileira.



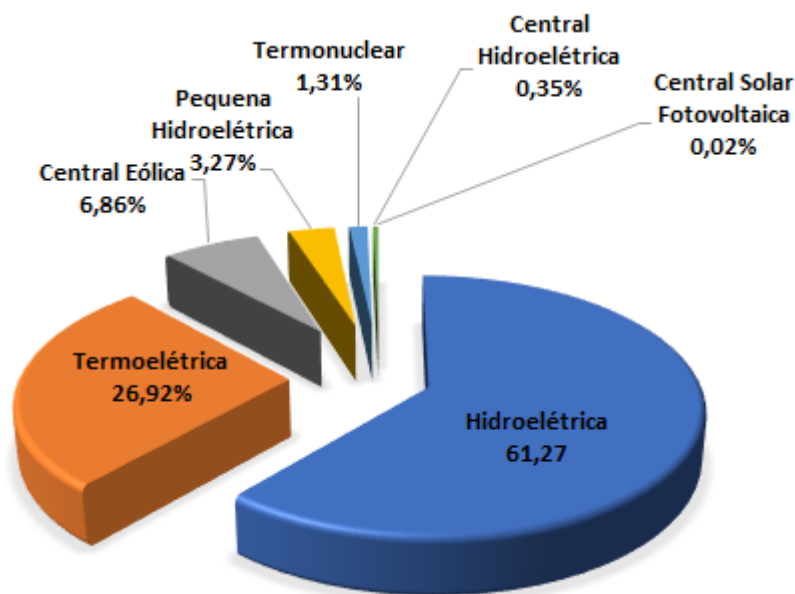
Fonte: Adaptado de Pereira et al. (2017).

2.4 Energias renováveis

As energias renováveis possuem características ilimitadas de utilização, renovam-se, podendo ser aproveitadas ao longo do tempo sem esgotamento. Dentre as mais conhecidas podemos citar a energia eólica e a solar em distintas aplicações (PORTAL ENERGIA, 2017).

No Figura 10, ilustrado abaixo a representação percentual de utilização na matriz elétrica a partir de dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 2017 e estudos realizados por (PEREIRA et al., 2017). Dentre as duas energias renováveis aplicadas fotovoltaica (FV) e eólica, aplicadas no Brasil, observa-se que a FV, possui utilização 343 vezes menor que a eólica.

Figura 10 – Distribuição percentual de utilização energética na matriz brasileira.



Fonte: Adaptado da ANEEL (2017) ; Pereira et al. (2017).

Kalogirou (2016) e Dullius et al. (2017) estimaram através de estudo, que em 2050 os níveis de CO₂ irão reduzir em 75%, desde que seguidas e aplicadas melhorias na eficiência energética e energias renováveis. Caso não ocorra, no mesmo ano a população será 50% maior, podendo emitir 590% a mais de CO₂, partindo-se de dados atuais.

Contudo, embora existam diversas aplicações utilizando-se de energias renováveis, serão expandidas as mais conhecidas, como a azul pressão osmótica retardada (POR), biomassa, eólica, solar (termossolar e FV), maremotriz.

Apesar de antiga, a energia azul é atualmente considerada uma das mais promissoras fontes de energias renováveis que serão utilizadas no futuro. Seu processo de obtenção segundo Unila (2013) e Kalogirou (2016) é adquirido através de POR com uma membrana de separação entre a água do rio e a do mar, utilizando-se de processo de eletrodialise reversa, a pressão faz a coluna de água salgada aumentar e gerar energia elétrica a partir da diferença de concentração de sal.

Estudos recentes sobre a energia azul realizados por Wang et al. (2017), compararam limitações entre um gerador eletromagnético (GEM) que funcionava em ambiente irregular com frequência menor que 5 Hz e um nanogerador triboelétrico (NGT) que apresentou vantagens em relação ao GEM referente à captação de energia a partir de movimentos de ondas de água em baixa frequência, sugerindo-se o NGT excelente para captação de energia azul em larga escala.

A energia biomassa, segundo Othman et al. (2017), destaca-se com novas possibilidades de exploração e utilização. Os diversos tipos de biomassas podem ser agrupadas em biomassas “modernas” ou “tradicionalis”. Entende-se modernas como os biocombustíveis (etanol e biodiesel), derivados do bagaço de cana-de-açúcar, da madeira de reflorestamento, resíduos, entre outras fontes, desde que reutilizadas através de aplicações e métodos tecnológicos sustentáveis. As tradicionais são empregadas de maneira rústica, exclusivamente para atender o conforto residencial (aquecimento de ambientes e alimentação) (BORGES et al., 2016 ; KALOGIROU, 2016).

A energia eólica é uma fonte de energia renovável nova no planejamento de ampliação do sistema elétrico brasileiro, apesar do grande potencial de exploração, e um sistema hidro-eólico no Brasil, Ferreira Junior et al. (2015) aponta que sua capacidade será 5 vezes maior podendo oferecer energia ambientalmente sustentável e suficiente para suprir a previsão de demanda nas próximas décadas.

Para Keeley & Matsumoto (2018) um dos motivos principais na escolha de implantação de energias renováveis está no entendimento de determinantes para localização de um melhor clima para investimentos, sejam internos ou externos investimento estrangeiro direto (IED), de um país.

Segundo Villalva (2015) e Kalogirou (2016) outra energia pouco explorada é a energia maremotriz extraída através do princípio de atração gravitacional entre o Sol e a Lua sobre a água dos oceanos que provoca o movimento das marés. Pode-se extrair essa energia também das ondas do mar, correntes marítimas oceânicas ou movimento das marés.

Johnson & Kerr (2018) relatam milhões de euros investidos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) e muito se aprendeu, porém, desafios permanecem: desenvolver um dispositivo capaz de converter a energia marinha em energia utilizável que apresente eficiência operacional e econômica; resolver o entrave operacional voltado a instalar, reparar

e manter milhares de estruturas flutuantes e fixas em ambientes marítimos de alta energia; gerir problemas ambientais e sociais.

A energia solar fotovoltaica (FV) e térmica (termossolar), oriundas do Sol, é a mais conhecida popularmente, apresentando-se como uma fonte de energia renovável menos poluente. Contudo, Affonso et al. (2016), nunca explorada e aproveitada de maneira eficiente, se comparado com outras fontes de energias renováveis. Fato que, no Brasil somente 0,02 % são aproveitados de toda sua matriz energética, conforme dados ANEEL (2017) e Pereira et al. (2017).

De acordo com Fonseca et al. (2018) e Villalva (2015) e Kalogirou (2016) o calor é captado através de coletores solares instalados em telhados de residências, prédios para aquecer a água, reduzindo custos e diminuindo a utilização de recursos energéticos como gás natural, carvão, e energia elétrica, entre outros. Pode-se construir ainda usinas solares térmicas, que captam e concentram o calor aplicando-o no aquecimento de determinados tipos de fluidos.

Dentre todas as energias renováveis comentadas anteriormente, a energia solar FV que realiza a conversão direta da radiação solar em energia elétrica através da utilização de células FV interligadas em série ou paralelo, foi sem dúvida, a escolha fundamental para dar-se a continuidade em estudos e testes experimentais realizados em 2012, tornando-se foco norteadores desta tese, pois foi desenvolvido um material a partir da reutilização de resíduos da construção civil (RCC), que apresentou características absorptivas e refletivas quanto à energia. Referente à refletiva, tornou-se excelente material voltado para aplicações de sensores fotoluminescentes (FL), e absorptivas podendo ser empregada no desenvolvimento de células solares FV sustentáveis.

2.5 Energia solar fotovoltaica (FV)

Dentre as fontes de energia renováveis explanadas anteriormente, a energia solar FV, objetivo principal de pesquisa bibliográfica e experimental desta tese, é atualmente sem dúvida, a que mais se destaca, apresentando elevado crescimento exponencial em todas as vertentes econômico, social e ambiental, e impulsionada à níveis mundial nas mais diversas aplicações.

Foi através de observações que Becquerel (1839) notou uma pequena diferença de potencial quando foram expostas à luz placas de platina ou prata, previamente submersas em um eletrólito.

Mais adiante, Adams e Day (1877) desenvolveram o primeiro material capaz de produzir eletricidade, com exposição à luz, utilizando-se das propriedades fotocondutoras apresentadas pelo selênio.

Em 1883 foi desenvolvida a primeira bateria solar, Eidt et al (2018) a partir de folhas de selênio. Apesar de apresentar uma eficiência elétrica de apenas 1%, teve muita repercussão, pois não acreditavam que se poderia gerar energia sem a queima de combustíveis.

A energia solar fotovoltaica (FV), segundo Pereira et al (2018) começou a ganhar força a partir da explicação do efeito fotoelétrico (FE) observado por Albert Einstein em 1905.

Porém, foi através de Chapin, da *Bell Labs*, que iniciou-se em 1954 pesquisas sobre células solares construídas a partir de silício (Si), apresentando eficiência em torno de 6%, aumentou-se o interesse em pesquisas e publicações de artigos sobre células FV.

Verificado por Uchino et al. (1982) que cerâmicas de titanato de chumbo (PbTiO_3) ao serem dopadas com dióxido de manganês (MnO_2) apresentaram efeito FV com alta tensão.

Estudos realizados com células solares sensibilizadas por corantes (CSSC) ou células de Grätzel, começaram a ser produzidas a partir da década de 90 com (GRÄTZEL e O'REGAN, 1991).

Pesquisas e desenvolvimento (P&D) sobre células FV tendem a aumentar, principalmente se tratando da palavra de interesse “redução de custos”, aplicados em diversos projetos e setores da ciência.

Pesquisa recente realizada por Sampaio et al. (2016) apontam que corantes naturais extraídos de frutas e vegetais possuem características potenciais para fabricação de CSSC, entre elas a jaboticaba.

Dentre diversas aplicações FV apresentadas até aqui, o material filme fino de sulfeto estanho e cobre (Cu_2SnS_3) desenvolvido por Chierchia et al (2016), demonstrou ser o mais utilizado em testes, demonstrando uma eficiência baixa de 3%, porém um rendimento quântico de 80%, J_{sc} de 26 mA e V_{oc} de 240 mV, destacando-se como um dos melhores à nível mundial, e tornando-se excelente para fabricação de detectores de infravermelho (IV).

Procedimento realizado por Belaqziz et al (2018) demonstrou que ao misturar nanopartículas de Cu_2SnS_3 com elementos abundantes, tornou-se ambientalmente correto e reduziu custos. Testes voltados para caracterização óptica determinou que nanopartículas de Cu_2SnS_3 sintetizadas adquiriram um intervalo de bandas de 1,4 eV, tornando-se um material absorvente para aplicações fotovoltaicas.

Outra tecnologia em destaque relatado por Shaikh et al. (2017), são as células solares de perovskita (CSP) que podem ser construídas com apenas um quinto de uma célula FV convencional, e eficiência pouco maior que 22%.

Ghannam e Abdulaheem (2017) relatam eficiência superior a 26% apresentado por células FV fabricadas com silício, ultrapassando valores anteriores em torno de 25,6% e 24,7%.

Recentemente, as células solares orgânicas (CSO) demonstraram eficiências de conversão em alta potência, porém a estabilidade continua a ser um dos problemas. Nehm et al. (2017) desenvolveram uma tecnologia que demonstrou grande potencial de eficiência energética superiores à 13%, representando 50% de eficiência de células FV comerciais fabricada com silício.

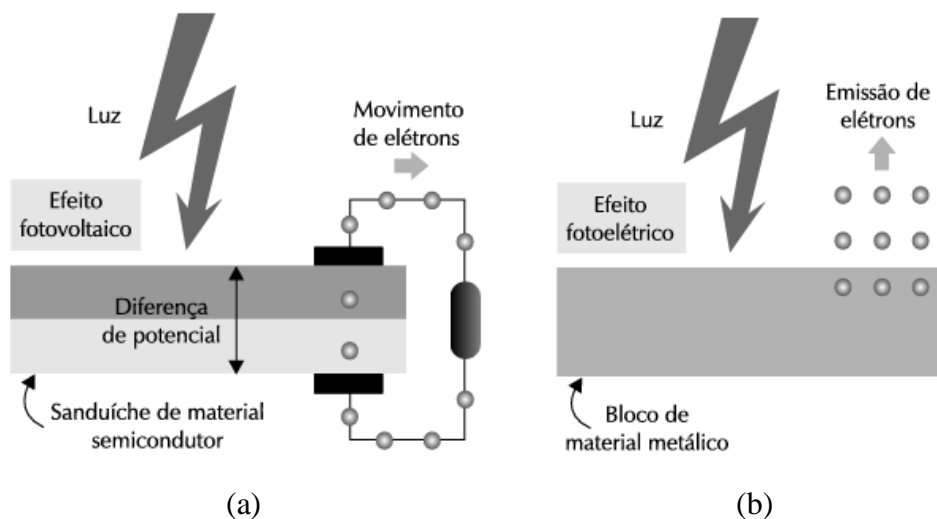
Agora, referente a extração de energia elétrica, existem dois efeitos observados, o fotovoltaico (FV) e o fotoelétrico (FE), embora realizem processo iguais de extração de elétrons, são muito confundidos.

Para Einstein (1905), Villalva (2015) e Kalogirou (2016) o efeito fotoelétrico ocorre em metais e não metais sólidos, líquidos ou gasosos. Agora, o efeito fotovoltaico são aplicados em diversos processos de energia solar FV para produção direta de eletricidade, convertendo-se da radiação eletromagnética do Sol em energia elétrica, partindo-se geralmente de materiais semicondutores como o silício.

A Figura 11 (a) e (b) ilustram a comparação entre o processo de extração dos elétrons e a diferença entre esses dois tipos o efeito fotovoltaico e o fotoelétrico respectivamente.

Esse embasamento teórico e prático sobre o efeito FV e FE, são fundamentais, e utilizados até hoje, para o desenvolvimento de uma célula solar FV (KALOGIROU, 2016).

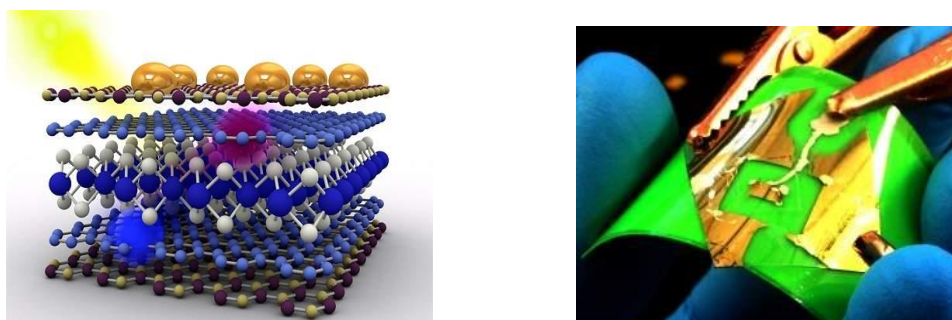
Figura 11 – Representa em (a) o efeito fotovoltaico e em (b) o efeito fotoelétrico.



Fonte: (Villalva, 2015).

Britnell et al. (2013) e Tahersima & Sorger (2016) apresentaram avanços tecnológicos em pesquisas ao construírem uma célula solar. A Figura 12 ilustra o empilhamento e construção da célula solar desenvolvida. A partir de flexibilidade mecânica apresentada por materiais (2D) bidimensionais, realizaram heteroestruturas com dissulfeto de molibdênio (MoS_2) / grafeno (Gr) / nitreto de boro hexagonal (hBN) para uma célula solar espiral, resultando em material mais leve e, permitindo absorções solares em até 90%.

Figura 12. A heteroestrutura tem apenas 2 nanômetros de espessura, e apresenta uma eficiência quântica de 30%.

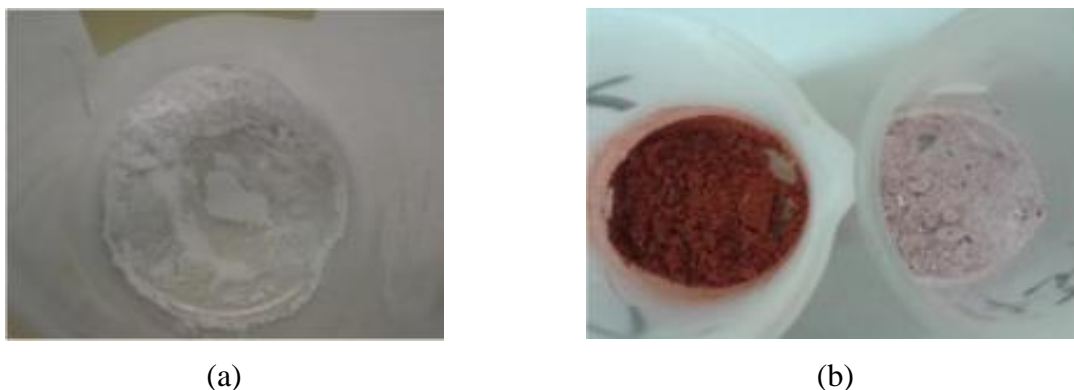


Fonte: Britnell et al. (2013).

Em estudos realizados em mestrado por Klepa (2012), Klepa et al. (2017; 2019) desenvolveu-se uma matéria-prima à base de resíduos da construção civil (RCC), que apresentou duas características excelentes, reflexibilidade e absorção de energia. Para reflexibilidade foi aplicado como matéria-prima no desenvolvimento de um sensor

fotoluminescente (FL) para sinalização e controle de tráfego em rodovias. Agora, para absorção de energia tornou-se um excelente direcionador para estudos e aplicações voltados para obtenção de um célula solar FV sustentável, conforme Figura 13 (a) e (b).

Figura 13. Cor e aparência de material desenvolvido: (a) amostra final de ZnO (óxido de zinco) puro, e (b) amostras com duas concentrações diferentes de resíduos de cerâmica e alvenaria.



Fonte: Klepa (2012), Klepa et al. (2017; 2018).

Tal matéria-prima, apresentando FL, podê-se aplicá-la e/ou até mesmo, substituir as tachas refletivas, placas, roupas de equipamentos de proteção individual (EPI), entre outras, largamente empregadas na sinalização de transporte em rodovias, utilizadas conforme Figura 14 (a) e (b), que são construídas atualmente com acrílico e padronizadas.

Figura 14. Sensores usados no controle de tráfego em rodovias.



Fonte: Bandeirantes (2018), Klepa et al. (2018).

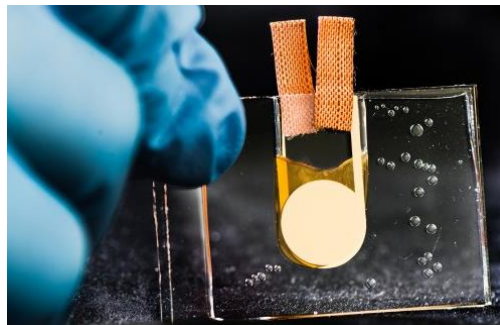
Pesquisas científicas estão ocorrendo a nível mundial, mas a inauguração em 2014 do Instituto de Pesquisas Avançadas sobre o grafeno foi um marco. O grafeno é um material subtraído do grafite que apresenta diversas aplicações que podem ser utilizadas em campos

como a optoeletrônica, fabricação de células solares FV, transistores, LED's (*Light Emitting Diode*), entre muitas outras.

Tokoro et al. (2015) descobriu cerâmica que estabiliza calor por determinado tempo, e é liberada após mínima pressão. Cerâmica apresentou características para fabricação de componentes eletrônicos, como folhas sensíveis à pressão, almofadas de aquecimento reutilizáveis, sensores sensíveis à pressão, memórias resistivas, memórias ópticas, além de armazenamento de energia termossolar.

Contudo, uma das mais intrigantes e recentes descobertas realizadas por Zhao et al. (2017) construíram um transistor que funciona à base de calor, abrindo portas para o campo da fonônica (eletrônica do calor), e tornando-se o primeiro protótipo construído no mundo com essa tecnologia conforme Figura 15. Suas aplicações passam por circuitos controladores de calor por infravermelho (IV), câmeras de calor (visão noturna), curativos médicos capazes de monitorar o processo de cicatrização, câmeras de visão noturna em celulares, entre muitas outras.

Figura 15 – Ilustra o primeiro transistor que funciona à base de calor no mundo, e surge juntamente com diversas aplicações.



Fonte Imagem: (Thor Balkhed, 2017).

Estudos realizados por Onofrei et al. (2017) reforçam e também podem contribuir para compreender aplicações voltadas para o campo da fonônica, em que foi desenvolvido sensor têxtil para medir fluxo de calor entre o corpo humano e meio ambiente, e pode contribuir no conforto térmico, eficiência e segurança do usuário, ilustrado na Figura 16.

Figura 16 – Ilustra sensor têxtil desenvolvido para medir fluxo de calor entre ambientes diferentes.



Fonte: (Onofrei et al., 2017).

Através dessas práticas, optou-se em dar-se a continuidade em estudos bibliográficos, bibliométricos e experimentais aplicados em funções absorptivas, pois tal material desenvolvido em mestrado (2012) através de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) apresentou-se como forte candidato para construção de células fotovoltaicas (FV), tornando-se o motivo norteador para desenvolvimento e pesquisas para esta tese.

Desta forma como não foi encontrada na literatura nenhuma Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) voltado diretamente à reutilização de resíduos da construção civil (RCC) para gerar energia FV, pretende-se desenvolver e/ou elaborar um material que apresente características elétricas semelhantes à uma célula solar FV, que possa diminuir impactos ambientais, sociais e econômicos causados pelo descarte de RCC, bem como a redução de gases de efeito estufa (GEE) entre eles, dióxido de carbono (CO_2), e também reduzir o consumo de energia elétrica.

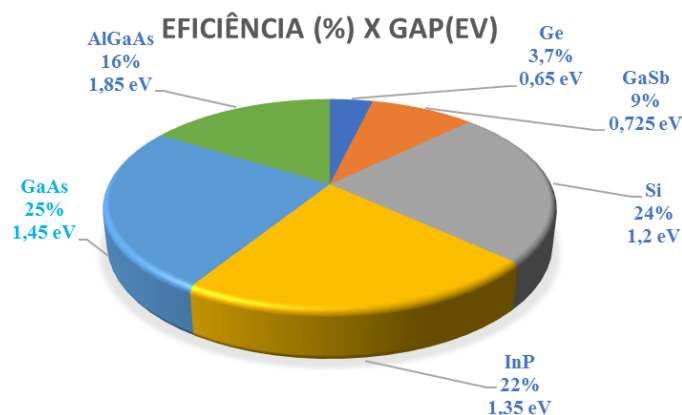
2.5.1 Estrutura microscópica de uma célula fotovoltaica (FV)

Para compreender o efeito FV é necessário saber que o silício (Si) é um semicondutor que apresenta em sua camada de valência 4 elétrons. Para que os elétrons se desloquem da camada de valência para a camada de condução, devem adquirir energia em joules (J) suficiente, em torno de 1,12 eV (CASTRO, 2002; BOYLESTAD & NASHESKY, 2013).

Han (2018), utilizou-se de estudo realizado por Henry (1980) em que relacionou a eficiência com o *gap* de alguns materiais químicos utilizados em processos FV.

Com base nisso, elaborou-se a Figura 17 a seguir que ilustra a porcentagem de eficiência versus o *gap* apresentado por materiais utilizados na construção de células FV, como Ge e Si. Observa-se ainda, na Figura 17, que os elementos mais empregados na composição de uma célula FV são arseneto de gálio (AsGa) com 25% de eficiência, seguido do silício (Si) com 24% e fosfeto de índio (InP) com 22%, que juntos somam mais de 70%.

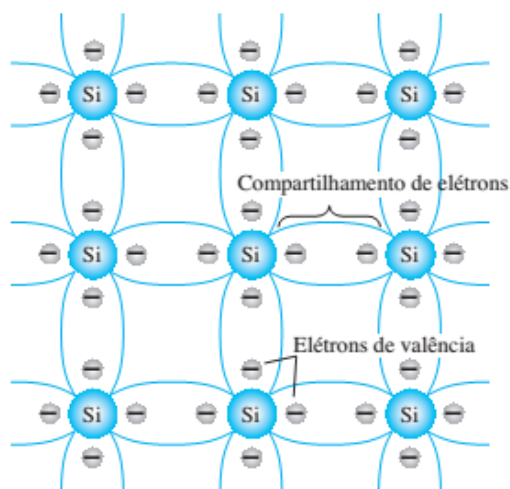
Figura 17 – Ilustra a eficiência(%) versus *gap* (eV) apresentada por alguns tipos de elementos químicos que são utilizados na construção de células FV.



Fonte: Adaptado de Henry (1980), Han et al., (2018).

A interligação entre elétrons, é realizada através de ligação covalente entre os elétrons de átomos vizinhos, conforme estrutura cristalina ilustrada na Figura 18.

Figura 18 – Ilustra o processo de ligação covalente na estrutura cristalina do átomo de silício com seus demais vizinhos.



Fonte: (Boylestad & Nashelsky, 2013).

A unidade de eletron volt (eV) é definida a partir da seguinte Equação 3 da tensão:

$$W = Q \times V \quad (3)$$

Em que,

W = energia dada em joules [J];

$Q = 1,6 \times 10^{-19}$ (valor de uma carga elétrica) Coulomb [C];

V = diferença de potencial [V];

Partindo-se da Equação 3 e, isolando-se (V) resulta em:

$$V = \frac{W}{Q} \quad (4)$$

Tomando-se como referência $V = 1V$, temos que o trabalho realizado W em joules [J] será de:

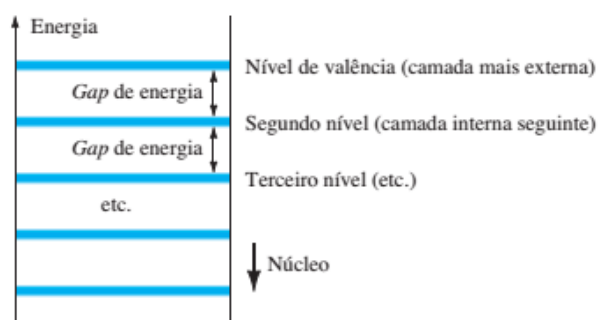
$$W = Q \times V = (1,6 \times 10^{-19}) \times (1V) = 1,6 \times 10^{-19} J$$

Portanto,

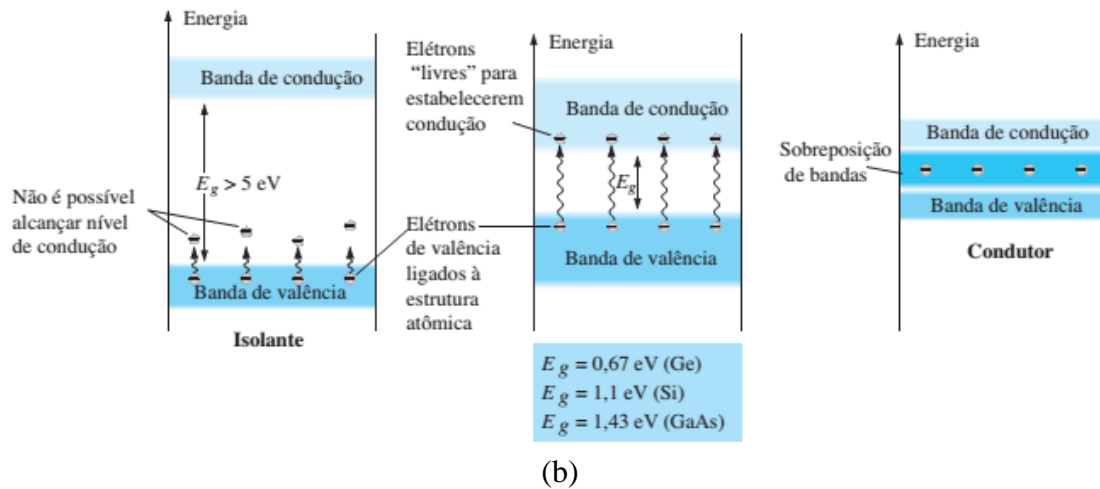
$$1 eV = 1,6 \times 10^{-19} J.$$

O “*gap*” ou salto de energia é necessário para que seja realizado o salto da banda de valência para a banda de condução, conforme ilustrado respectivamente na Figura 19 (a) e (b), um isolante, semicondutor e condutor.

Figura 19 – (a) Níveis discretos em distribuição eletrônica atômica, separados por camadas. (b) Respectivamente da esquerda para direita, bandas de condução e valência em um isolante, semicondutor e um condutor.



(a)



Fonte: (Boylestad & Nashelsky, 2013).

Pode-se utilizar também uma das equações relativas mais importantes a circuitos elétricos, conhecida como Lei de Ohm, publicado pelo Alemão *Georg Simon Ohm* (1789-1854) representada pela Equação 5, (BOYLESTAD & NASHELSKY, 2013).

$$I = \frac{V}{R} \quad (5)$$

Em que:

I = corrente em amperes [A];

R = resistência dada em ohms [Ω];

Outra fórmula desenvolvida por *James Watt* (1736 – 1819) pode ser utilizada a partir das Equações 6, 7 e 8, (BOYLESTAD & NASHELSKY, 2013).

$$P = V.I \quad (6)$$

Em que:

P = potência dada em watts [W];

Derivado-se da Equação 6, temos:

$$P = R.I^2 \quad (7)$$

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (8)$$

Relacionando-se a Equação 2 é possível determinar o comprimento de onda (λ) e a energia (E_g) do material utilizado, e com isso, resultando na Equação 9.

$$E_g = \frac{hc}{\lambda} \quad (9)$$

Em que,

E_g = energia dada em joules [J];

1 eV = $1,6 \times 10^{-19}$ J;

h = constante de Planck = $6,626 \times 10^{-34}$ J.s ;

c = 3×10^8 m/s ;

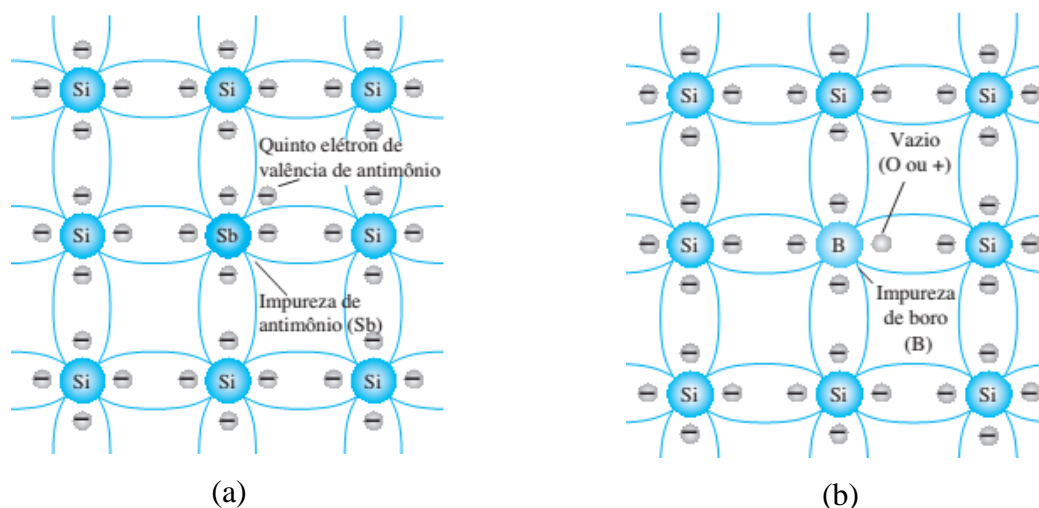
λ = comprimento de onda em metros;

Para que uma célula FV construída a partir de silício intrínseco (puro) apresente uma diferença de potencial (ddp), e uma corrente elétrica, o mesmo deve ser dopado com impurezas em sua estrutura cristalina, tornando-se um material do tipo “n” ou “p”.

Um material puro de silício se torna do tipo “n” quando é adicionada em sua estrutura cristalina elementos químicos com 5 elétrons em sua camada de valência (pentavalentes) como antimônio, arsênio e fósforo conforme representado na Figura 20 (a).

Para que o silício se torne um material do tipo “p” basta repetir o processo apresentado anteriormente, porém, adicionando-se em sua estrutura cristalina elementos químicos com 3 elétrons de valência (trivalentes) como boro, gálio e índio conforme ilustrado na Figura 20 (b).

Figura 20 – (a) Estrutura cristalina de silício puro se tornando um material do tipo “n” após a inserção do elemento químico pentavalente antimônio (Sb), deixando um elétrons livre. (b) Estrutura cristalina de silício puro se tornando um material do tipo “p” após a inserção do elemento químico trivalente boro (B), deixando uma lacuna ou buraco.



Fonte: (Boylestad & Nashelsky, 2013).

2.5.2 Estrutura macroscópica de uma célula fotovoltaica (FV)

A estrutura macroscópica de uma célula FV é ilustrada através da Figura 21. Possui formato quadrado em média com medida de 10 cm de lado e sua massa aproximadamente 10 gramas (CASTRO, 2002).

Existem dois tipos de células FV que dominam o mercado, células FV monocristalinas (m-Si) e as policristalinas (p-Si).

Figura 21 – Ilustra uma célula solar fotovoltaica pré-fabricada monocristalina (esquerda) e a direita célula solar policristalina.



Fonte: (Da Silva, et al, 2018).

Referente ao processo de fabricação a Figura 22 demonstra passo-a-passo a construção de uma célula FV (m-Si), desde a utilização do minério silício puro passando pelo

forno Czochralski, lingote de silício, fatias (*wafers*) e a célula FV (m-Si) pronto para ser comercializada em diversas aplicações. Para uma célula p-Si o processo de fabricação se difere quanto a fundição.

Figura 22 – Processo de fabricação de uma célula fotovoltaica, da esquerda para direita, minério de silício puro, forno Czochralski, lingote de silício, fatias (*wafers*) e a célula fotovoltaica monocristalina.



Fonte: (Portal Solar, 2017).

A estrutura física e o funcionamento de uma célula FV pode ser comparado ao de um componente eletrônico diodo, fabricado a partir de silício com dopagens diferentes, conforme representado na da Figura 23 através da junção dos materiais do tipo “p” juntamente com o tipo “n”. A intensidade de corrente elétrica apresentada nos polos positivo (+) e negativo (-) dependerá exclusivamente da proporção de luminosidade, ou seja, da radiação incidente sobre a junção P-N.

A eficiência de conversão que representa a porcentagem (%) de uma célula FV ou módulo FV pode ser obtida através da relação entre a potência de saída ($P_{saída}$) e a potência de luz incidente ($P_{luzincidente}$) na célula. A Equação 10 abaixo representa essa relação.

$$\text{Eficiência (\%)} = \frac{P_{saída}}{P_{luzincidente}} \times 100 \quad (10)$$

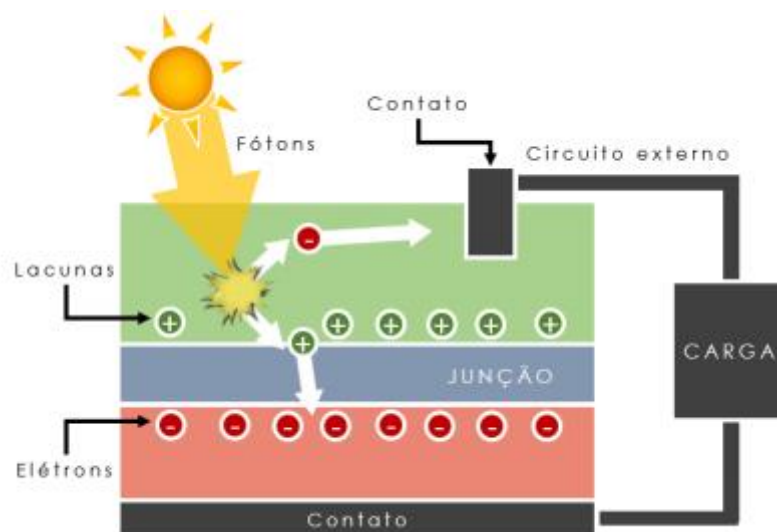
Em que,

Eficiência (%) = eficiência de conversão dada em porcentagem [%];

$P_{saída}$ = potência de saída entre os polos (+) e (-), dada em watts [W];

$P_{luzincidente}$ = potência de radiação incidente entre a junção PN, dada em [W];

Figura 23 – Representação da estrutura básica fundamental de uma célula fotovoltaica a partir da união de materiais do tipo “p” e do tipo “n”.

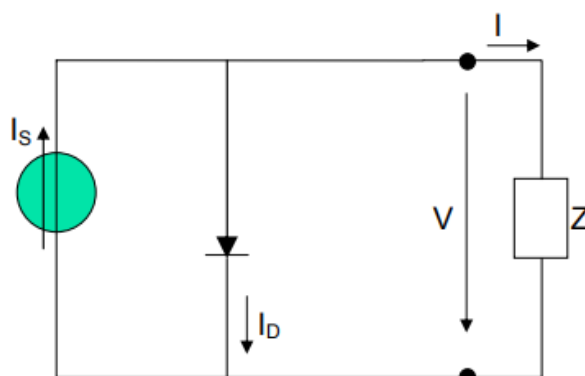


Fonte: (Neves, 2017).

2.5.3 Modelo matemático célula fotovoltaica (FV)

O modelo matemático que representa uma célula FV padrão pode ser exemplificado através do esquema elétrico ilustrado na Figura 24. A fonte de corrente " I_s " determina a corrente elétrica fornecida a partir da proporção de radiação incidente na célula. Já " I_D " representa a corrente direta fornecida pela junção P-N do diodo semiconductor (junção da célula solar). Ao conectar a carga de impedância " Z " aos bornes escuros, irá surgir respectivamente uma tensão " V " e corrente " I " que manterão a carga em funcionamento através de uma corrente elétrica contínua (CASTRO, 2002, KOLOGIROU, 2016, AYOP et al., 2018).

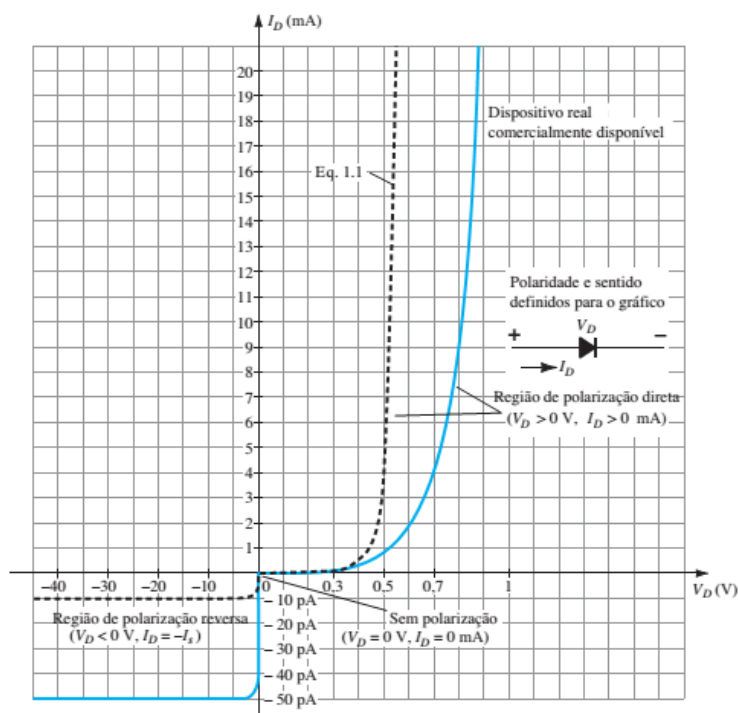
Figura 24 – Adaptado do esquema elétrico equivalente de uma célula fotovoltaica que alimenta uma carga com determinada impedância Z (carga) que irá utilizar a energia elétrica produzida pela célula FV.



Fonte: (Castro, 2002, Kologirou, 2016 e Ayop et al., 2018).

A Figura 25 representa a curva exponencial “ I_D ” (corrente direta no diodo) versus “ V_D ” (tensão direta no diodo) como princípio de funcionamento de um diodo semiconductor de silício, sendo semelhante ao princípio de funcionamento de uma célula fotovoltaica.

Figura 25 – Representação cartesiana da curva característica de funcionamento de um semiconductor de silício.



Fonte: (Boylestad & Nashelsky, 2013).

Analogamente a corrente “ I_D ” que atravessa o componente eletrônico diodo representado na Figura 24, comparada com a representação da curva característica ilustrada na Figura 25, pode-se obter a seguinte fórmula, originando a Equação 11 conhecida como equação de Shockley:

$$I_D = I_o \left(e^{\frac{V}{mVT}} - 1 \right) \quad (11)$$

Em que,

I_D = corrente direta dada em [A];

I_o = corrente de saturação reversa [A];

V = tensão aplicada aos terminais da célula;

m = fator de idealidade, que é a função de condições de operação e construção física; possui valor entre 1 e 2, sendo mais usual, 1.

V_T = conhecida como tensão térmica, e poderá ser determinada através da Equação 12 a seguir:

$$V_T = k \frac{Tk}{q} \quad (12)$$

Em que,

k = constante de Boltzmann ($K = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$);

T = temperatura absoluta da célula em $^\circ\text{K}$ ($0^\circ\text{C} = 273,16 \text{ }^\circ\text{K}$);

q = carga elétrica de elétron ($q = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$);

Analisando o esquema elétrico da Figura 22, a corrente “I” que alimenta a carga “Z” pode ser expressa através da seguinte Equação 13 a seguir:

$$I = I_S - I_D = I_S - I_o \left(e^{\frac{V}{mV_T}} - 1 \right) \quad (13)$$

Deve-se levar em consideração dois pontos importantes de uma célula FV(fotovoltaica):

- Célula FV apresenta as características abaixo de “**curto circuito exterior**”.

$$V = 0;$$

$$I_D = 0;$$

$$I = I_S = I_{CC}; \quad (14)$$

Onde a corrente de curto circuito (“ I_{CC} ” ou “ I_{SC} ”) representa o valor máximo da corrente de carga, igual a corrente obtida através do efeito fotovoltaico. Seu dado pode ser obtido através do fabricante para determinadas condições de radiação incidente e temperatura.

Já para “**circuito aberto**” as características são as seguintes:

$$I = 0;$$

$$V_{CA} = mV_T \ln \left(\left(1 + \frac{I_S}{I_o} \right) \right) \quad (15)$$

Em que, “ V_{CA} ” ou “ V_{OC} ” representam a tensão no modo vazio que é o valor máximo de tensão apresentada nos terminais da célula, quando está em vazio. Esse dado é fornecido através dos fabricantes de acordo com as condições de radiação e temperatura incidentes.

Observe que para uma temperatura $T = 298,16 \text{ °K}$ ($\theta = 25 \text{ °C}$), obtém-se a $V_T = 25,7 \text{ mV}$. Essa tensão é característica na temperatura ambiente ($\theta = 25 \text{ °C}$), tanto para diodos quanto células FV, podendo utilizar a “ V_T ” como aproximadamente 26 mV .

Para realização de testes deve-se adotar os parâmetros de referência de radiação incidente e temperatura em uma célula FV respectivamente:

- a-) radiação incidente de referência, $G_{REF} = 1000 \text{ W / m}^2$;
- b-) temperatura ambiente de referência, $T_{REF} = \theta_{REF} = 25\text{°C}$;

Partindo-se da Equação 11, isolando-se “ I_0 ” temos:

$$I_0 = \frac{I_{cc}}{e^{\frac{V_{CA}}{mV_T}} - 1} \quad (16)$$

2.5.4 Potência elétrica e rendimento

A potência elétrica de saída “P” representada pelos terminais de uma célula FV fotovoltaica podem ser descritos através da Equação 17 a seguir:

$$P = VI = V \left[I_{cc} - \left(I_0 \left(e^{\frac{V}{mV_T}} - 1 \right) \right) \right] \quad (17)$$

Derivando-se a potência a partir de $dP/dV = 0$, obtém-se a potência máxima através da Equação 18:

$$I_{cc} + I_0 \left(1 - e^{\frac{V}{mV_T}} - \frac{V}{m V_T} e^{\frac{V}{mV_T}} \right) = 0$$

$$\left(e^{\frac{V}{mV_T}} \right) = \frac{I_{CC} + 1}{I_0 \frac{V}{1 + \frac{V}{mV_T}}} \quad (18)$$

Adotando-se, $V = V_{MAX}$ e $I = I_{MAX}$, correspondente a corrente. A potência máxima pode ser representada por $P_{MAX} = V_{MAX} I_{MAX}$.

Para condições de “r” referência temos:

- a-) $V = V_{RMAX}$ (tensão de referência máxima);
- b-) $I = I_{RMAX}$ (corrente de referência máxima);
- c-) $P = P_{RMAX}$ (potência de referência máxima);

Além desses, outros parâmetros podem ser fornecidos pelos fabricantes como, “ V_{RCA} ” = “ V_{ROC} ” (tensão de referência em modo vazio) e “ I_{RCC} ” = “ I_{RSC} ” (corrente de referência de curto circuito).

A potência máxima de saída em condições de teste é designada em “kWh”. O rendimento em condições de referência pode ser apresentado através da Equação 19 a partir da relação da potência de referência máxima com a potência de referência de radiação incidente, sendo que em condições naturais, pode ser representado através da Equação 20:

$$\eta^r = \frac{P^r_{max}}{AG^r} \quad (19)$$

em que “A” representa a área da célula FV e “G” é a radiação solar incidente por unidade de área de superfície (W/m^2).

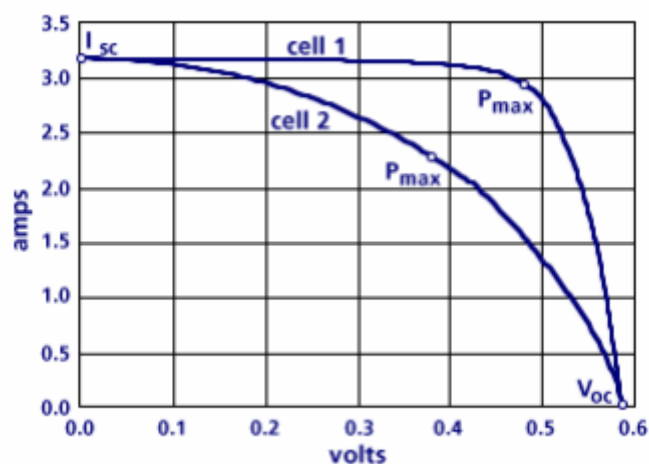
$$\eta = \frac{P_{max}}{AG} \quad (20)$$

Obviamente que as células fabricadas a partir do mesmo padrão, apresentem as mesmas características e valores como, “ V_{rca} ” e “ I_{rcc} ”. O Fator de Forma (FF) é um número de referência apresentado comercialmente entre 0,7 e 0,85, quanto maior for esse valor, indicará qual célula deverá ser utilizada. O FF pode ser determinado através da equação:

$$FF = \frac{P^r_{max}}{V^r_{ca} I^r_{cc}} \quad (21)$$

De acordo com Castro (2002) podemos demonstrar graficamente observando na Figura 26 a curva $I-V$ (corrente - tensão).

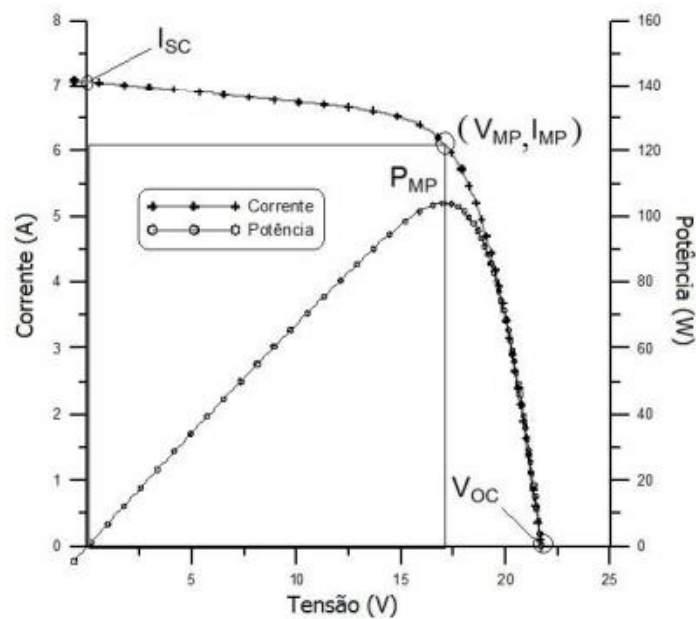
Figura 26 – Representação gráfica da $I-V$ (corrente – tensão) de duas células FV (1 e 2), apresentando Fatores de Forma (FF) diferentes.



Fonte: (Castro, 2002).

A Figura 27 representa a potência versus tensão ($P-V$) formada a partir de dois tipos de células apresentando “FF” e “ η ” diferentes.

Figura 27 – Representação da curva característica $I-V$ e $P-V$ para um módulo FV com potência de 1000Wp.



Fonte: (Cresesb, 2018).

Partindo-se das Equações 18 e 19, e referências, $G_{REF} = 1000 \text{ W / m}^2$, $T_{REF} = \theta_{REF} = 25^\circ\text{C}$ e $A = 0,01 \text{ m}^2$, temos:

Célula 1

- a-) $V_{OC} = V_{CA} = 0,58 \text{ V}$ (tensão no modo vazio);
- b-) $I_{SC} = I_{CC} = 3,20 \text{ A}$ (corrente de curto circuito);
- c-) $I_{MAX} = 2,90 \text{ A}$ (corrente no ponto de potência máxima – retirado do gráfico);
- d-) $V_{MAX} = 0,48 \text{ V}$ (tensão no ponto de potência máxima – retirado do gráfico);
- e-) P_{MAX} (coordenadas do ponto P_{MAX} plotado na curva referente a célula 1). Portanto, $P_{MAX}(0,48 ; 2,90) = V \times I = 0,48 \times 2,90 = 1,392 \text{ W}$;
- f-) $FF = 0,75$;
- g-) $\eta = 0,1392 \%$;

Célula 2

- a-) $V_{OC} = V_{CA} = 0,58 \text{ V}$ (tensão no modo vazio);
- b-) $I_{SC} = I_{CC} = 3,20 \text{ A}$ (corrente de curto circuito);
- c-) $I_{MAX} = 2,25 \text{ A}$ (corrente no ponto de potência máxima);
- d-) $V_{MAX} = 0,38 \text{ V}$ (tensão no ponto de potência máxima);
- e-) P_{MAX} (coordenadas do ponto P_{MAX} plotado na curva referente a célula 1). Portanto, $P_{MAX}(0,38 ; 2,25) = V \times I = 0,38 \times 2,25 = 0,855 \text{ W}$.
- f-) $FF = 0,46$;
- g-) $\eta = 0,0855 \%$;

Note que, os cálculos apontam que a melhor célula a ser empregada para uso, é a célula 1, pois apresenta maior “FF” (Fator de Forma) 0,75 e “ η ” rendimento 0,1392 %.

2.5.5 Eficiência (“ η ”) de uma célula fotovoltaica (FV)

O rendimento de uma célula FV é influenciado não só pela variação de temperatura, mas condições climáticas, nível de irradiância, temperatura ambiente, velocidade do vento, propriedades dos materiais (dissipação térmica e propriedades de absorção das diferentes camadas do painel FV e condições de instalação (SAHLI, et al., 2018).

O calor por unidade de volume dentro do painel FV é estimada por Sahli et al. (2018) descrita matematicamente:

$$Q = S (1 - \eta_{FV}) \frac{A}{V} \quad (22)$$

Em que, “S” é a irradiação solar incidente, eficiência elétrica da célula (η_{FV}), “A” área frontal do painel FV, e o volume das células (V) FV utilizadas no painel.

De acordo com Klepa et al. (2016), a “ η ” ou eficiência energética (EE) de uma célula FV pode ser equacionada através da relação entre a potência de saída pela potência de entrada, e comparando-a com a Equação 10, obtemos a Equação 23 eficiência energética (EE%) a seguir:

$$\text{Eficiência (\%)} = \frac{P_{saída}}{P_{luzincidente}} \times 100$$

$$EE(\%) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad (23)$$

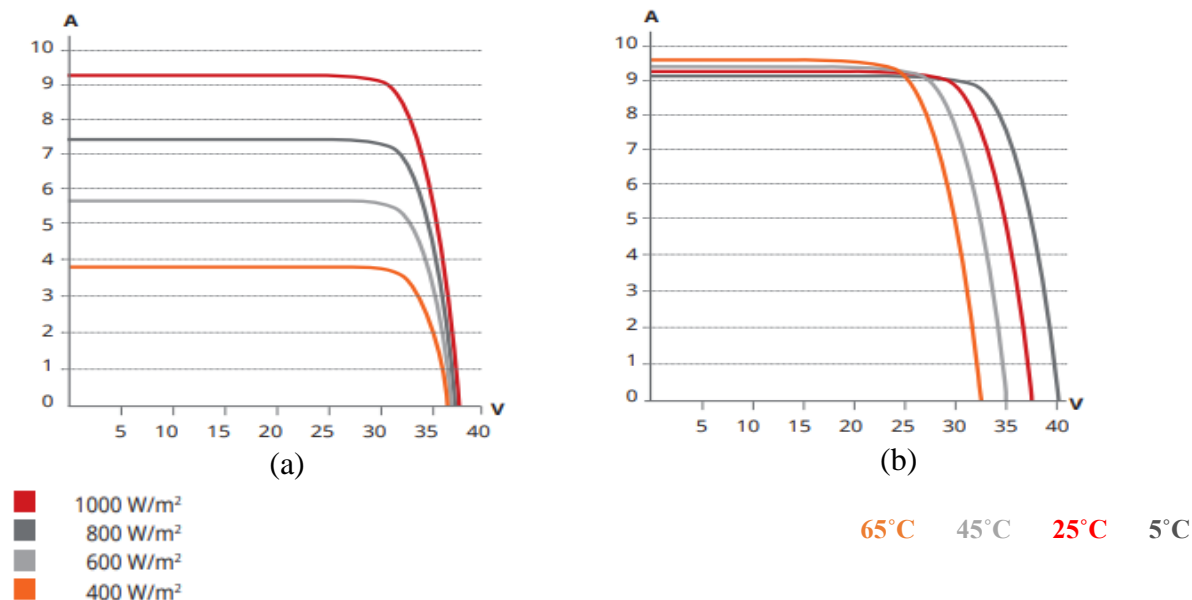
Em que, EE (%) eficiência energética em porcentagem; Pout (Potência de saída do módulo fotovoltaico) = Psaída; Pin (Potência de incidência de radiação solar no módulo fotovoltaico) = Pluzincidente;

O módulo fotovoltaico (MF) possui 5 cinco classificações (“A”, “B”, “C”, “D” e “E”), silício monocristalino (SMC) e silício policristalino (SPC) respectivamente, porém somente a classificação “A” possui selo Procel de EE (KLEPA, et al., 2016).

O valor mínimo para o MF de silício ser considerado da classe “A” é 13,5 e o mínimo para MF de filmes finos é 9,5.

A Figura 28 (a) a seguir demonstra o gráfico corrente versus tensão (I-V) contendo diversas curvas com potência de radiação solar de 100 até 1000 W/m² de acordo com menor ou maior incidência de radiação. Tomando-se como referência a Figura 28 (a) padrão em um dia ensolarado observa-se que para cada valor de radiação solar apresentada há uma correspondente em temperatura, como por exemplo, a máxima medida de 1000 W/m² corresponde a Figura 28 (b) um valor de 25°C em um módulo FV da fabricante *Canadian Solar CSI CS6P-265P – BR*, ficando evidente a influência da temperatura em uma célula FV, como pode-se observar a cada aumento de 20°C implica em uma queda de 43% na radiação, conforme Figura 28 (a).

Figura 28 – (a) Gráfico I-V com diversas curvas com potência de radiação solar entre 400 e 1000 W/m² de acordo com menor ou maior incidência de radiação solar. (b) Curvas com diferentes ponto de tensão e ponto de operação de potência máxima com aumento da temperatura do fabricante Canadian Solar CSI CS6P-265P - BR.



Fonte: Adaptado de (NeoSolar, 2017 e Cardoso et al., 2018).

2.5.6 Tipos de células fotovoltaicas (FV)

As células FV, segundo Raphael et al (2018), são produzidas desde, métodos básicos à tecnologias ou processos químicos avançados preparadas com diversos materiais além do silício e em diferentes configurações. Atualmente, fazendo parte da nova geração de dispositivos fotovoltaicos, como as células solares sensibilizadas por corante (DSSC), do inglês *Dye-Sensitized Solar Cells*, células solares sensibilizadas por pontos quânticos (QDSSC), do inglês *Quantum Dot-Sensitized Solar Cells*, e as células solares de perovskita de estrutura química, CH₃NH₃PbI₃ (PSC), do inglês *Perovskite Solar Cells*.

Klepa et al. (2016) classifica as gerações de células FV quanto ao seu processo de fabricação e eficiência apresentadas. A principal matéria-prima para construção de células FV, permanece sendo o silício (Si), com 85% de aceitação no mercado, por apresentar eficiência energética (EE%) em média 14%, perante as demais células comercializadas.

As células FV são diferenciadas e classificadas através de sua EE, consolidação no mercado, processos químicos, entre outras, conforme Quadro 1.

As células FV de primeira geração representam mais de 85% do mercado, por possuir a melhor eficiência comercialmente disponível. Sua eficiência na conversão da radiação solar em eletricidade ultrapassa 12%.

As células FV de segunda geração denominadas de filmes finos (FF) são divididas em processos produtivos:

- a-) Silício amorfo (a-Si);
- b-) Seleneto de cobre, índio, gálio (CIGS);
- c-) Telureto de cádmio (CdTe);
- d-) Sulfeto de cobre, zinco, estanho (CZTS);

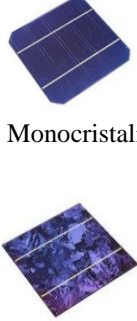
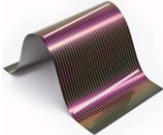


Sua eficiência na conversão de luz solar em eletricidade varia entre 5% e 7%. Porém, atualmente o recorde de eficiência em células de silício amorfo (a-Si) individuais disponível no mercado está entre 8 e 9%.

Agora, as células FV de terceira geração estão em fase de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), testes e produção em pequena escala, dividida em três cadeias produtivas:

- a-) Célula FV de multijunção e célula FV para concentração (CPV – *Concentrated Photovoltaics*);
- b-) Células sensibilizadas por corante (DSSC), células solares sensibilizadas por pontos quânticos (QDSSC) e as células solares de perovskita (PSC);
- c-) Células orgânicas ou poliméricas (OPV), do inglês, *Organic Photovoltaics*;

A tecnologia CPV demonstrou um potencial para produção de módulos FV com altas eficiências, embora com um custo ainda não competitivo com as tecnologias de fabricação de células FV monocristalina e policristalina que dominam o mercado.

Quadro 1. Classificação das células fotovoltaicas quanto a 1, 2 e 3 gerações.

Células FV de 1ª geração	Células FV de 2ª geração	Células FV de 3ª geração
 <ul style="list-style-type: none"> ●Silício Monocristalino (mc-Si); ●Silício Policristalino (p-Si); <p>Representam mais de 85% do mercado, por possuir a melhor eficiência comercialmente disponível.</p> <ul style="list-style-type: none"> ●A sua eficiência na conversão da luz solar em eletricidade é superior a 12%. 	<p>Denominada de filmes finos, é dividida em processos produtivos:</p>  <ul style="list-style-type: none"> ●Silício amorfo (a-Si); ●(CIGS- seleneto de cobre, índio, gálio); ●Telureto de cádmio (CdTe); ●CZTS (sulfeto de cobre, zinco, estanho) <p>Possui menor eficiência se comparada a primeira geração associada à disponibilidade dos materiais, vida útil, ao rendimento das células e, no caso do cádmio por ser tóxico.</p> <ul style="list-style-type: none"> ●Apresentam custo baixo, se comparado as de silício cristalino, embora exijam processos de produção envolvendo vácuo e tratamentos térmicos a altas temperaturas. ●Sua eficiência energética varia entre 5% e 7%. ●O recorde de eficiência em células de a-Si individuais está na faixa de 8 - 9%. 	<p>Ainda em fase de P&D, testes e produção em pequena escala, dividida em três cadeias produtivas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ●Célula FV de multijunção e célula FV para concentração (CPV – <i>Concentrated Photovoltaics</i>);  <ul style="list-style-type: none"> ●Células sensibilizadas por corante (DSSC – <i>Dye-Sensitized Solar Cell</i>) células solares sensibilizadas por pontos quânticos (QDSSC – <i>Quantum Dot-Sensitized Solar Cells</i>) e as células solares de perovskita (PSC – <i>Perovskite Solar Cells</i>) e  <ul style="list-style-type: none"> ●Células orgânicas ou poliméricas (OPV – <i>Organic Photovoltaics</i>). <p>A tecnologia CPV apresenta um custo ainda não competitivo com as tecnologias que dominam o mercado.</p>

Fonte: Adaptado de Klepa et al., (2016; 2017), Raphael et al. (2018), Da Silva et al. (2018) e Gonçalves (2018).

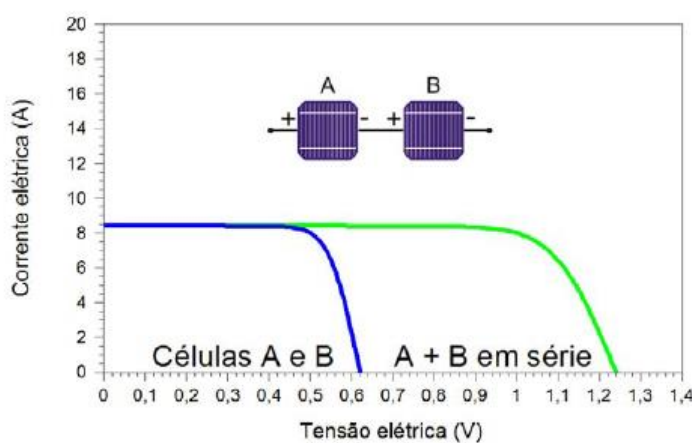
Para Klepa et al. (2016), utilizar energia solar para beneficiar-se da eletricidade, reduz as emissões de gases de efeito estufa (GEE), impactos ambientais, custos econômicos e sociais, ligados à área da construção civil e empreendimentos energéticos. Atingi-se também, flexibilidade de instalação nos mais diversos locais e posições, inclusive os mais remotos, ligados a construções de mini e microgeração de energia elétrica para residência e indústrias, fazendo-se dela, uma fonte de energia renovável com grande potencial em expansão no país.

2.5.7 Célula solar híbrida

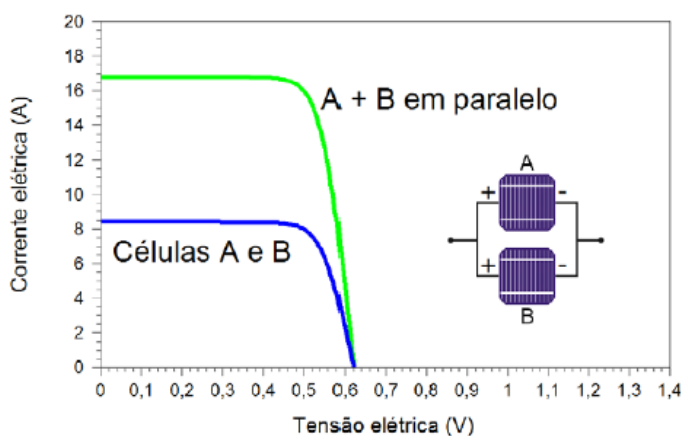
Estudos e pesquisas afirmam que as células FV convertem apenas uma pequena parte da energia solar em eletricidade, e para Hipólito et al. (2016), Sahli et al (2018) o resto da energia é dissipada em calor para o meio ambiente, afetando não só a eficiência elétrica das células, mas muitas vezes danificando-a.

Os painéis ou módulos FV, são constituídos através da associação ou interligação de várias células FV e, esses módulos podem ser interligados em série conforme ilustra a Figura 29(a) ou, em paralelo, ilustrado na Figura 29(b).

Figura 29 – (a) Curva I - V representativa de duas células FV ligadas em série. (b) Curva I - V representativa de duas células FV ligadas em paralelo.



(a)



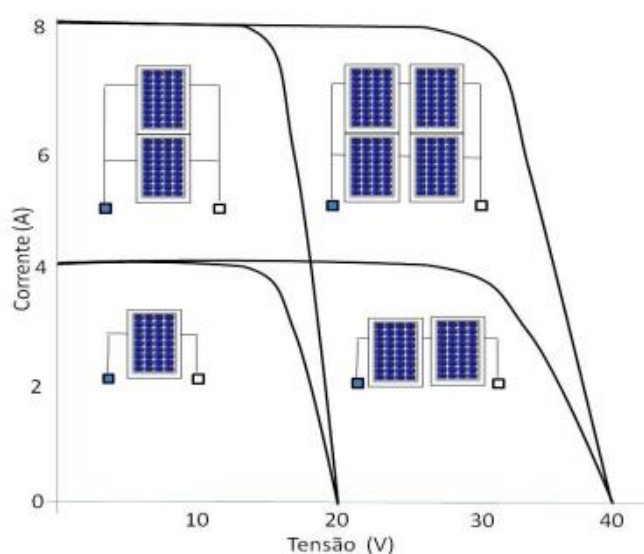
(b)

Fonte: (Cresesb, 2018).

Observa-se através de representação gráfica ilustrada pela da Figura 30, estudo realizado por Zilles et al. (2012) e Gisso (2015), que a tensão aumenta, bastando utilizar-se de configuração dos módulo fotovoltaicos (FV) ligados em série, e para configuração, módulos

ligados em paralelo, obtém-se aumento tanto na intensidade de corrente elétrica e potência elétrica. Agora, mesclando-se ambos tipos de configurações (série e paralelo) e, quadruplicando-se a quantidade de módulos FV, há a possibilidade de se alcançar 75% de potência elétrica, se comparado a somente um módulo FV.

Figura 30 – Comparações representativas de Curva *I-V* de módulos FV, partindo-se da parte inferior esquerda, 1 módulo FV, inferior direita 2 módulos FV ligados em série, superior esquerda 2 módulos FV ligados em paralelo, e na parte superior direita, 4 módulos FV ligados na configuração mista (série e paralelo).



Fonte: Adaptado de Zilles et al. (2012) e Gisso (2015).

Partindo-se agora, de estudos voltados para tecnologia híbrida, Hipólito et al (2016) realizaram estudos e concluíram que mais de 80% da radiação solar incidente em uma célula ou módulo FV, é dissipada na forma de calor sem utilização, e, que atualmente e comercialmente, só é possível atingir uma conversão de eficiência energética (EE) em torno de 17%.

Pensando nisso, desenvolveram uma metodologia capaz de mesclar e/ou utilizar de forma conjunta, essas 2 formas de energias apresentadas na forma de calor e eficiência em um mesmo módulo FV, aplicando-as com mais eficiência.

Através da Equação 24 demonstrada por Evans & Florschuetz (1977), Hipólito et al. (2016), Cardoso et al. (2018) elucidam que a eficiência elétrica de um módulo FV diminui conforme a temperatura (radiação) é elevada nas células FV com aproximação linear conforme a Equação 24 descrita abaixo.

$$\eta = \eta^r [1 - \beta(Tc - Tr)] \quad (24)$$

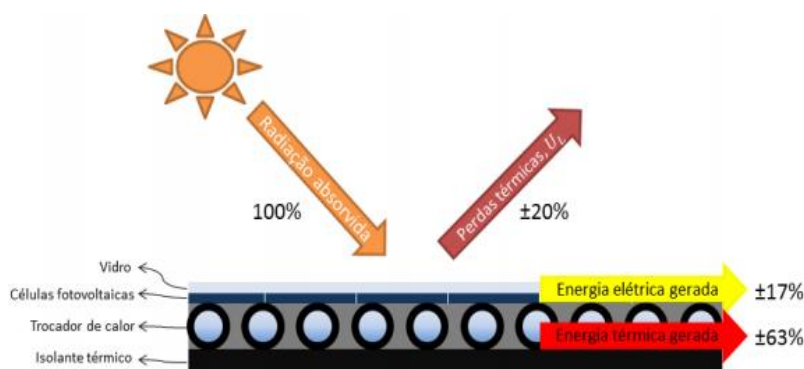
Em que, “ η ” representa a eficiência do módulo FV, “ η_r ” eficiência de referência, “ β ” coeficiente de temperatura, “ T_c ” temperatura da célula e “ T_r ” temperatura de referência da célula.

O valor típico para “ β ” é de 0,0045/ °C, conforme alguns fabricantes de painéis fotovoltaicos, representando para cada aumento de 1°C, há uma redução de 0,45% na eficiência do módulo FV.

Para Hipólito (2016), essa redução no rendimento do módulo FV pode ser prejudicial, principalmente em países em que o clima apresenta temperaturas altas como o Brasil.

Partindo-se deste cenário, os módulos FV podem atingir temperaturas superiores à 65°C. A Figura 31 representa as porcentagem respectivamente em relação a energia elétrica e térmica, 17% e 63%, através da técnica de dissipação utilizada, embora 20% é dissipado na forma térmica sem utilização nenhuma.

Figura 31 – Célula solar híbrida desenvolvida a partir da troca de calor utilizando tubos preenchidos com água.



Fonte: (Hipólito, 2016).

De acordo com Hipólito (2016) a energia elétrica convertida a partir da radiação solar incidente na célula FV pode ser calculada através da seguinte equação:

$$E_E = A \eta_E G \tau \quad (25)$$

Em que, “ E_E ” é a energia elétrica convertida, “ A ” corresponde a área total da célula ou módulo FV, “ η_E ” eficiência de conversão energética em porcentagem, “ G ” radiação por metro quadrado e “ τ ” é a transmissividade do vidro.

Agora para se obter a equação da energia térmica, segundo Duffie e Beckman (2013):

$$E_T = A \eta_T G \quad (26)$$

Isolando-se “ η_T ”, temos:

$$\eta_T = F_R(\tau\alpha) - F_R U_L \cdot \frac{T_i - T_a}{G_T} \quad (27)$$

Pensando-se em pesquisas envolvendo tecnologias híbridas e reutilização de resíduos de construção civil (RCC), Klepa et al. (2017; 2019) desenvolveram estudos experimentais matéria-prima que apresentou potenciais características tanto reflexivas, quanto absorptivas de energia.

Para a característica reflexiva, material apresentou um custo produtivo 30 vezes menor que um material fotoluminescente (sensor termoluminescente) comercializado. A segunda característica, absorptiva, apresentou características excelentes e com possibilidades para o desenvolvimento de uma célula solar fotovoltaica (FV) sustentável.

Com essas informações, pode-se utilizar essas características absorptivas e reflexivas apresentadas por tal material, e dependendo, aplicá-las em modo híbrido, ou separadas.

Sendo assim, esta tese busca realizar estudos voltados para características absorptivas com a finalidade de demonstrar a importância da certificação de qualidade e eficiência energética (EE) das células FV desenvolvidas a partir de RCC, conseguindo-se através disso, vantagem competitiva entre as empresas e contribuindo para a sustentabilidade ambiental.

2.6 Desenvolvimento de novas células fotovoltaicas no mundo

Diversas pesquisas científicas estão ocorrendo, uma delas voltada para estudos sobre o grafeno, que é subtraído do grafite e, apresenta inúmeras aplicações nos campos da optoeletrônica, células solares FV, transistores, LED's, entre outras.

Cerâmica desenvolvida por Tokoro et al. (2015) estabiliza e controla calor, através de mínima pressão, aplicada na confecção de componentes eletrônicos, memórias ópticas e resistivas, armazenamento de energia termossolar, entre outras.

Zhao et al. (2017) desenvolveram transistor que funciona à base de calor, tornando-se possível aplicações no campo da fonônica (eletrônica do calor), entre muitas, uma interessante, curativos médicos capazes de monitorar o processo de cicatrização.

Pesquisas e desenvolvimento (P&D) sobre células FV tendem a aumentar, principalmente se tratando da palavra de interesse “redução de custos”, aplicados em diversos projetos e setores da ciência.

Sampaio et al. (2016) apontam que corantes extraídos de frutas e vegetais possuem características excelentes para fabricação de células FV. Material de filme fino de sulfeto estanho e cobre (Cu_2SnS_3) desenvolvido por Chierchia et al (2016), apresentou eficiência baixa de 3%, porém um rendimento quântico de 80%, J_{sc} de 26 mA e V_{oc} de 240 mV, tornando-se excelente para construção de detectores por infravermelho (IV).

Belaqziz et al (2018) demonstrou ser ambientalmente correto ao reduzir custos ao misturar nanopartículas de Cu_2SnS_3 com elementos abundantes e testes de caracterização óptica determinou que nanopartículas de Cu_2SnS_3 sintetizadas adquiriram uma banda de 1,4 eV, tornando-se um material absorvente para aplicações fotovoltaicas.

Shaikh et al. (2017), relatam que células solares de perovskita (CSP) podem ser construídas com apenas um quinto de uma célula FV padrão, apresentando eficiência pouco superior a 22%. Ghannam e Abdulraheem (2017) relatam que atualmente células FV de silício chegam a apresentar eficiência superior a 26%, ultrapassando valores anteriores a 25.6% e 24,7%.

Recentemente, as células solares orgânicas (CSO) demonstraram eficiências de conversão em alta potência, porém ainda com pouco controle de estabilidade. Nehm et al. (2017) desenvolveram uma tecnologia que apresentou eficiência energética superiores à 13%, representando 50% de eficiência de células FV comerciais fabricada com silício.

Para Santos et al. (2017), a sustentabilidade aplicada em energias renováveis, apresentam diversos benefícios econômicos, sociais e ambientais, sendo os 3 mais importantes:

a-) Menor custo benefício se comparado aos combustíveis fósseis na obtenção de energia;

b-) Maior geração de empregos, se comparado aos combustíveis fósseis;

c-) Podem ser utilizados para redução da poluição em rios, nascentes, próximos as cidades;

d-) Implantação de iluminação em residências e/ou vilarejos remotos podem utilizar sistemas automáticos ou híbridos que não necessitam da rede de energia elétrica, entre eles painéis fotovoltaicos;

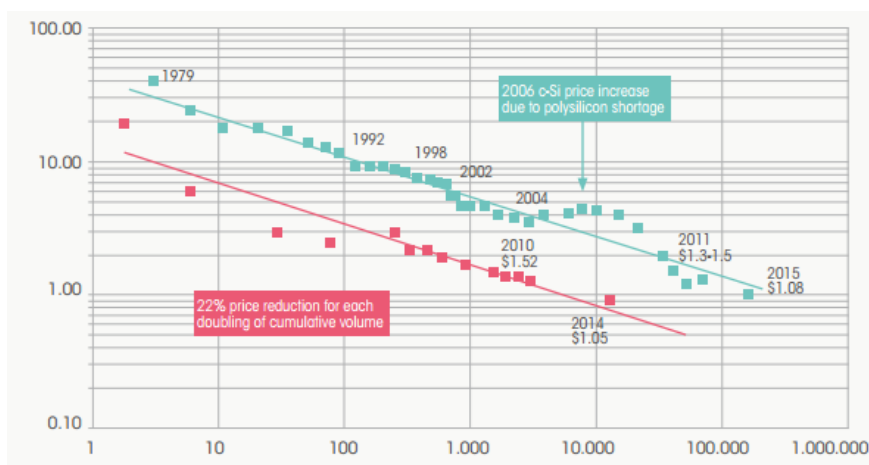
e-) Sistemas fotovoltaico conectado à rede de energia, podem utilizar-se de modos de configuração como *on-grid* ou *grid-tie*, que geram eletricidade utilizando-se de energia solar, mas trabalha em conjunto com a rede elétrica da concessionária de energia.

Para Da Silva (2018) uma das principais alavancas que direcionam para substituição das fontes de energia convencionais por fontes renováveis, entre elas sistemas de geração por energia solar, é sem dúvida por apresentar alta eficiência, grande aplicabilidade e, constante queda nos preços, abundantes irradiações de energia solar disponível em todo litoral Brasileiro e no mundo.

Verifica-se através de Figura 32 que o preço médio global de um sistema FV é composto da seguinte forma $x=USD/Wp$, versus $y=$ volume acumulado em mega watts (MW), como exemplo, em 2015 um valor médio de \$ 1.08, é composto através do valor do dólar por Watt pico (Wp) versus volume acumulado.

De acordo com a *International Renewable Energy Agency - IRENA* (2016) em 2015 nos EUA, os sistemas fotovoltaicos vêm sofrendo queda significativa nos preços e aumento constante de sua potência. Tal tendência é atribuída à concorrência entre empresas do setor, alta demanda por parte dos mercados consumidores, barateamento do processo produtivo, investimentos no setor por parte de instituições públicas e privadas objetivando, pesquisa constante por novos materiais conversores. Salienta-se também, um redução dos preços não aos conectores, conversores e fixadores acarretando uma diminuição total de custos.

Figura 32 – Variação do preço das células fotovoltaicas de 1975 até 2015.



Fonte: (IRENA, 2016 e Da Silva, 2018).

Agregados de clorofila foram sintetizados por Li et al. (2018) e verificado a possibilidade de serem utilizados como materiais de transporte de buracos em células solares de perovskita (CSP), apresentando eficiências entre 9,90 e 13,0 %.

Fischer (2018) realizou estudos voltados para células de combustível microbianas (CCM) em que constatou-se que fotoanodos e fotocátodos podem ser combinados com micróbios eletrogênicos e fotoelétricos para gerarem energia, além de abrir espaço para estudos voltados para geração de bioeletricidade. Células solares de calcostibita (CuSbS_2), segundo Banu et al. (2019) foram usadas em tinta híbrida que apresentou eficiência de conversão de 2,75%.

Corantes orgânicos isentos de metais foram sintetizados por Wu et al. (2019) e aplicados em células solares sensibilizadas (CSS) onde obteve uma eficiência de conversão de potência em 8%. Tonui et al. (2018) realizaram pesquisas em torno da eficiência apresentadas pelas células solares de perovskita (CSP), que mesmo apresentando conversão acima de 22%, mas à curto tempo, tornando-se um grande desafio para sua produção em grande escala.

Segundo Luo et al. (2018) conseguiram aumentar a eficiência em células solares de perovskita (CSP), aplicando-se material antirreflexivo ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$) baseado em nanoesferas de sílica, conseguindo-se com isso, de 14,81% para 15,82%. Oligômeros aplicados por Gu et al. (2019) demonstraram eficiência de conversão energética e densidade de corrente aumentadas para cerca de 20% para células solares orgânicas.

Avanços promissores, segundo Davidsen et al. (2019), apontam material desenvolvido a partir de carbono pirolítico para eletrodos 3D, como potencial candidato em implantes FV voltados para problemas com retina. Corantes sintetizados por Zhang et al. (2018), e aplicados para melhorar desempenho FV em heteroátomos, apresentaram eficiências de conversão superiores a 7%.

Moléculas baseadas a partir de tiofeno exibem propriedades FV, díspares e morfológicas, surgindo assim, possibilidade de estudos voltados para desenvolvimento de novas moléculas e aplicações sobre seus desempenhos FV (JE, et al., 2018).

Através dessas práticas, optou-se em dar-se-a continuidade em estudos bibliográficos, bibliométricos e experimentais aplicados em funções absorptivas, pois tal material desenvolvido em mestrado (2012), apresentou-se como forte candidato para construção de células FV, tornando-se o motivo norteador para desenvolvimento e pesquisas para esta tese.

Desta forma, como não foi encontrada na literatura nenhuma Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) voltado diretamente à reutilização de resíduos da construção civil (RCC) para gerar energia FV, pretende-se desenvolver e/ou elaborar um material que

apresente características elétricas semelhantes à uma célula solar FV que possa diminuir impactos ambientais, sociais e econômicos causados pelo descarte de RCC, bem como a redução de gases de efeito estufa (GEE) entre eles, dióxido de carbono (CO₂), e também reduzir o consumo de energia elétrica.

2.7 Sustentabilidade aplicada a partir de reutilização de resíduos de construção civil (RCC)

A geração de RCC é grande problema devido ao acúmulo de resíduos sem destinação final, acabando em aterros e lixões, muitas vezes clandestinos causando inúmeras doenças. Matos et al. (2019) afirmam também que, a geração de resíduos depositados de forma irregular em terrenos baldios, acostamentos de estradas e rodovias, podem contaminar o solo, o ar e água, provocar inundações, doenças, entre diversos outros.

Para Brasileiro et al. (2015) a cadeia produtiva da construção civil consome entre 20 e 50% dos recursos naturais de todo o planeta, gerando RCC em grande quantidade.

Com o aquecimento global diversas mudanças climáticas ocorrem em nosso planeta, e através disso, há procura por soluções sustentáveis através de aplicações envolvendo segundo Matos et al. (2019), muitas vezes, reuso e reciclagem de RCC, destinação, geração e fiscalização. Afirmam ainda que, se escolhida a classificação técnica de triagem de materiais adequada, discriminação de insumos, reciclagem e reutilização dos agregados, pode-se atingir a responsabilidade sustentável.

Dados da Ecycle (2018), relatam que adotando-se práticas de reaproveitamento de resíduos em geral, pode-se conseguir vantagens interessantes, como:

- a-) Evitar a geração de aproximadamente 100 milhões / ano de RCC;
- b-) Redução de contaminação do solo, já que o RCC é rico em metais pesados;
- c-) Diminuição dos custos industriais mediante a incorporação de resíduos em seus processos produtivos;
- d-) Diminuição da quantidade de resíduos enviados para aterros sanitários e industriais, diminuindo-se assim os custos com destinação, transporte e multas;
- e-) Economia de energia e recursos naturais;
- f-) Melhoria de imagem da empresa frente ao mercado consumidor;

Pode-se conseguir também, segundo Matos et al. (2019) diversas aplicações de emprego para os materiais reciclados em canteiros de obras, como:

- a) Utilização em pavimentação;
- b) Utilização como agregado para o concreto;
- c) Utilização como agregado para a confecção de argamassa;
- d) Cascalhamento de estradas; preenchimento em construções; valas de instalações e reforço de aterros.

O resíduo de construção civil (RCC), conhecido como entulho é classificado como sendo de Classe II B – inerte (ABNT, 2004; Matos, et al., 2019), estando seu tratamento condicionado à redução de seu volume.

Em estudo realizado por Matos et al. (2019) diversas medidas são implantadas para mudar essa realidade, como exemplo, a resolução nº. 307/02 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), documento que apresenta orientações, diretrizes, critérios e procedimentos voltados a Gestão dos Resíduos da Construção Civil (GRCC), firmando-se a responsabilidade compartilhada entre os geradores de resíduos, transportadores e municípios.

Dentre os diversos assuntos abordados nesta resolução, o art. 10, Matos et al. (2019) especifica critérios que devem ser adotados para os RCC das seguintes formas separados em classe:

I - Classe A: deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;

II - Classe B: deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;

III - Classe C: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

IV - Classe D: deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Sendo assim, conforme a CONAMA, os agregados (RCC) disponibilizados para estudos nesta tese, possuem classificação (Classe A).

Adotando-se tal resolução, pode-se agregar maior valor a um resíduo que seria simplesmente descartado em aterros ou em locais indevidos, como terrenos baldios, beira de estradas e proximidades de córregos e lagos.

CAPÍTULO III
MATERIAIS E MÉTODOS

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Bioprocessos e Controle de Qualidade do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UNINOVE - Universidade Nove de Julho – SP.

3.1 Coleta dos dados Bibliográficos

A metodologia utilizada neste tese foi uma pesquisa bibliométrica sistemática seguindo regras de seleção através de uma busca de palavras-chave que respondiam as perguntas de pesquisa “*gap*” do tema estudado, neste caso, em 2016 o tema da tese foi: “Desenvolver uma célula fotovoltaica a partir de resíduo da construção civil”. As palavras-chaves da pesquisa utilizadas foram:

- a-) "*source photovoltaic cells*";
- b-) "*photovoltaic residue*";
- c-) "*photovoltaic cells waste*";
- d-) "*photovoltaic cells waste*""*residue*";
- e-) "*photovoltaic cell of residue*";

Com essas palavras-chave foi realizada uma pesquisa bibliométrica sistemática através de coleta de dados de artigos em 11 bases de dados importantes como, *Capes*, *Compendex*, *EBSCO*, *Emerald*, *Exacta*, *Proquest*, *Scielo*, *Science Direct*, *Scopus*, *Taylor & Francis e Wiley Library* e, em sites relacionados ao assunto como América do Sol, Selo Solar, Inmetro, Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito (Cresesb), entre outros.

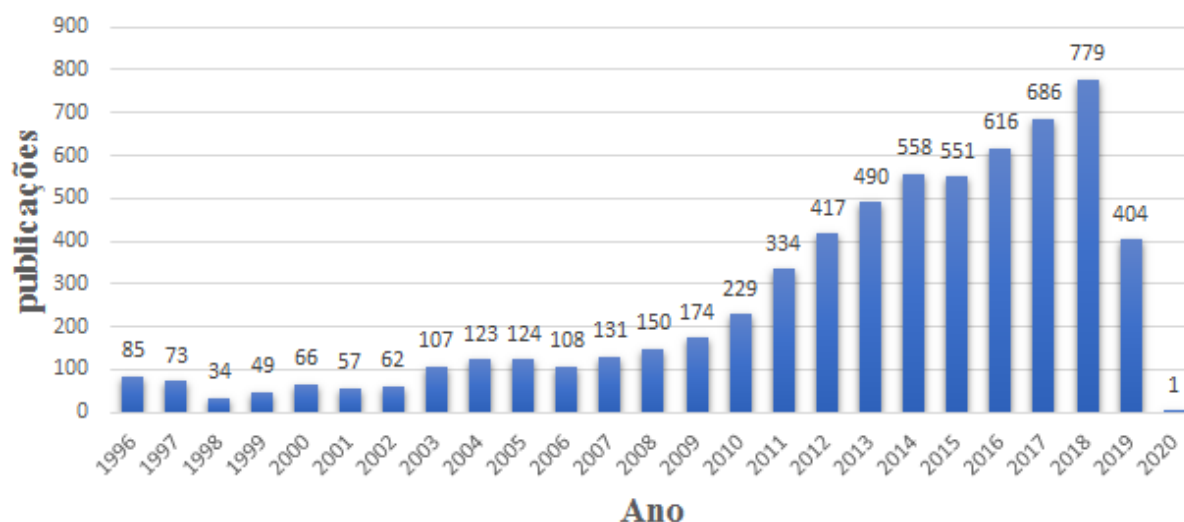
Para critério de avaliação dos artigos quanto a relevância, foi realizada uma busca através do nome dos autores, título, ano, palavras-chave, metodologia, periódico, natureza da pesquisa, resultado específico, segmento e/ou setor da empresa ou universidade, elaboração de perguntas de pesquisa que respondiam as lacunas “*gap*” do tema abordado, país de origem e relevância alta ou baixa, e através das palavras-chaves elaborou-se as perguntas:

- São utilizados novos recursos para criação de células fotovoltaicas?;
- São incorporados resíduos da construção civil nesta nova célula fotovoltaica?;
- Na criação desta célula fotovoltaica são utilizados compostos químicos?;

Nessa pesquisa, foram levados em consideração as palavras-chaves e perguntas de “*gap*” lacunas. Partindo-se de busca a partir da *Science Direct*, elaborou-se um gráfico

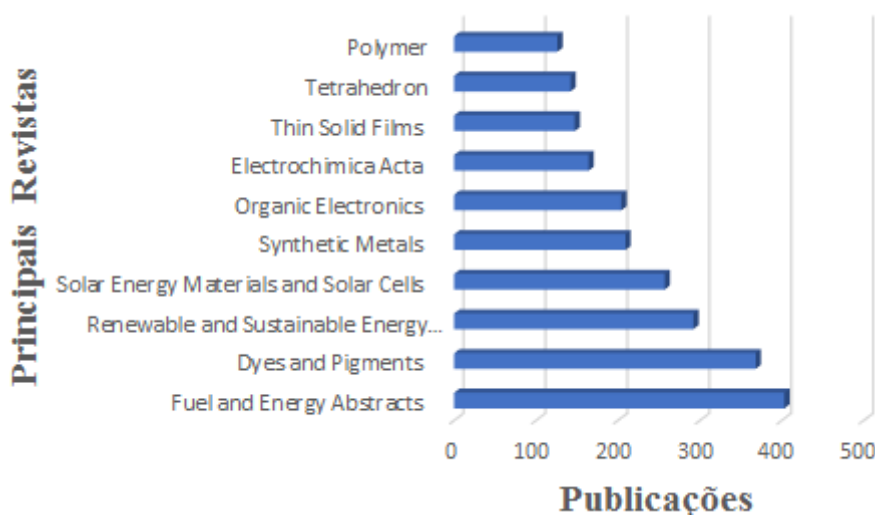
contendo a verificação de publicações de revistas ao longo do tempo, conforme ilustrado na Figura 33. Observa-se, durante um período de 10 anos (2008-2018) que as publicações quintuplicaram no último ano.

Figura 33 – Evolução de publicações de revistas ao longo dos anos elaborado a partir de pesquisa na *Science Direct* (1996-2020).



Complementando-se a pesquisa, elaborou-se também, um gráfico representado na Figura 34, comparação entre as principais revistas que mais publicam sobre o assunto, versus a quantidade de publicações. Observa-se na Figura 33, que somente a *Fuel and Energy Abstracts*, publica três vezes mais do que a *Polymer*.

Figura 34 – Publicações das principais revistas versus a quantidade de cada uma delas.



Buscou-se aspectos conceituais que caracterizam as vantagens do uso das células fotovoltaicas (FV), quanto a eficiência energética (EE) das células ou módulos FV. A pesquisa foi realizada inicialmente com um estudo horizontal da literatura e de documentos

públicos, com a finalidade de compreender a estrutura dos módulos FV e a necessidade do uso de energia FV na atual realidade mundial.

3.2 Organização da pesquisa experimental

Os experimentos foram planejados seguindo-se orientações realizadas em estudos realizados por Rani et al. (2008), Batista et al. (2008), e apontamentos realizados em mestrado por Klepa (2012), Al-khanbashi et al.(2014), Klepa et al. (2017; 2019), e através disso, elaborou-se um procedimento experimental conforme fluxograma ilustrado através da Figura 35.

Verificou-se inicialmente a necessidade de separação dos agregados de resíduos de construção civil (RCC). Os resíduos aqui citados, são oriundos da construção civil e foram coletados pela poli-USP, posteriormente para melhor separação, coleta e organização do experimento, nomeou-se tais resíduos, como resíduos de construção civil (RCC cerâmica) à esquerda, e RCC alvenaria à direita, conforme ilustrado na Figura 36.

Figura 36 – Agregados de resíduos da construção civil (RCC), identificado respectivamente na esquerda como RCC cerâmica e direita RCC alvenaria.



Definiu-se que, após coleta dos resíduos caracterizados como RCC cerâmica e RCC alvenaria, deveriam ser lixiviados para serem retiradas suas impurezas conforme sugestões dos autores descritos acima.

Na sequência, a partir da mistura desses resíduos, fez-se necessário um tratamento químico, submetidos a secagem em uma estufa com temperatura de 100°C.

Após secagem, tal mistura foi exposta em uma mufla para calcinação. Logo após a realizada a mistura, fez-se necessário sua exposição à radiação solar para verificar através de observações e equipamentos específicos seu comportamento.

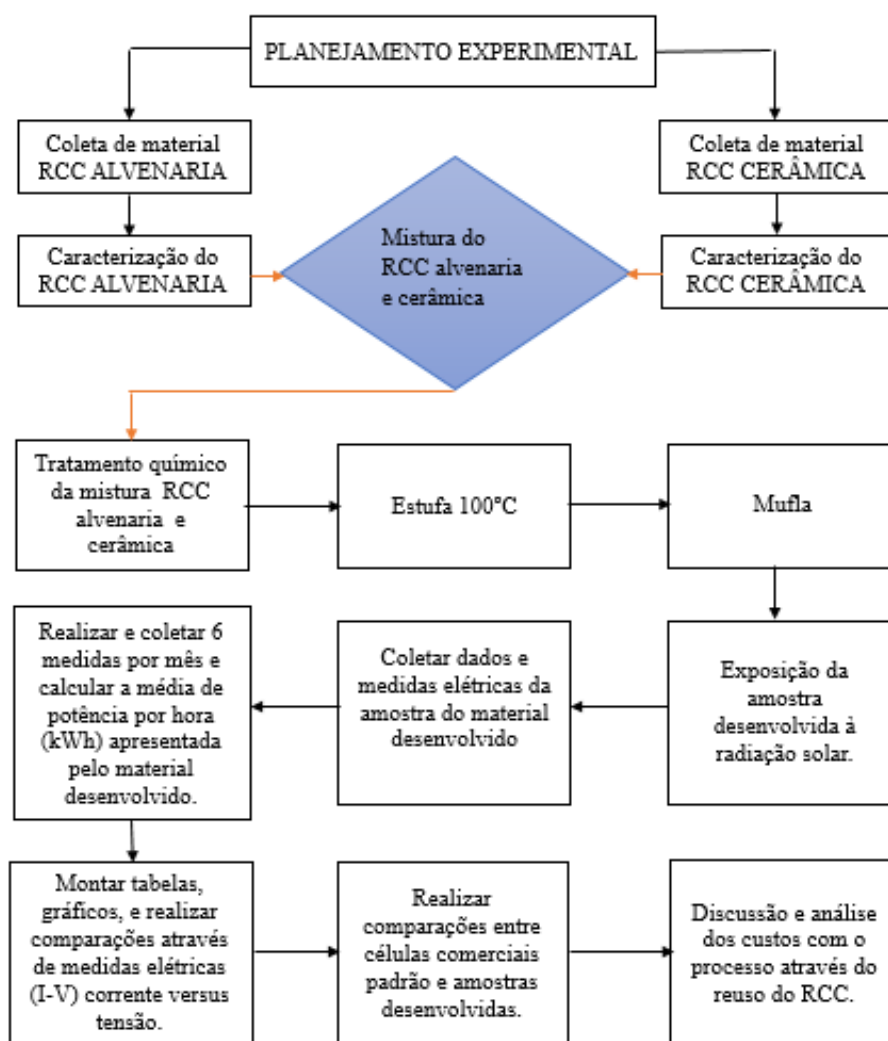
Feito isso, utilizou-se de equipamentos eletrônicos, como o multímetro para coletar características elétricas como, tensão, resistência e corrente, apresentadas pelo material, e através disso, verificar através de equações matemáticas, sua eficiência energética.

De posse desses dados, e melhor validade desta pesquisa, fez-se necessário a coleta de 6 medidas/mês e, calculou-se a média da potência por hora em (kW.h).

Através desses dados, realizou tabelas, gráficos e comparações através de medidas elétricas coletas de corrente versus tensão (I-V).

Com isso, fez-se necessária uma análise comparativa com discussões, sobre as células fotovoltaicas comerciais e a célula solar FV desenvolvida, através de suas medidas elétricas apresentadas. Fez-se necessário também, uma análise perante ao processo de custo produtivo apresentado, verificando-se não somente sua viabilidade econômica, mas sustentável.

Figura 35 – Fluxograma da pesquisa experimental elaborado a ser seguido.



3.3. Materiais

Agregados de RCC alvenaria e RCC cerâmica oriundos da construção civil foram fornecidos pela Instituto Politécnico da USP (Poli-USP) e foram triturados em diversas *meshes*.

De posse disso, esses materiais foram peneirados até a granulometria máxima de curva de granulometria 200 *meshes* (0,074 mm). Após peneirados, esses agregados foram dispostos em recipientes separados.

A massa dos agregados foi ajustada em 50%, e misturada a reagentes como óxido de zinco (ZnO), cloreto de sódio (NaCl), óxido de zinco sol-gel (ZnO sol-gel), sulfato de cobre (CuSO₄), óxido de cobre (CuO), óxido de manganês (MnO), álcool etílico com pureza de 90%, e água destilada na preparação das amostras em forma de sol-gel.

Utilizou-se também, béquer com graduação em 1000 ml, Balança eletrônica Shimadzu® modelo AUY 220, agitador magnético da Fisatom® sem aquecimento modelo 752, estufa de secagem e esterilização da SPlabor® modelo SP-100 e forno mufla da SPlabor® modelo SP-1200, paquímetro universal quadrimensional 150 mm resolução 1/128” - 0,05mm da Mitutoyo®, multímetros da Minipa®, relógio da Minipa termo-higrômetro, termômetro infravermelho, medidor de energia solar MES-100 da Instrutherm®.

3.4. Montagem dos corpos de prova

A montagem dos corpos de prova foram obtidas utilizando-se da metodologia sol-gel descrita por Rani et al. (2008), Klepa (2012), Al-khanbashi et al.(2014), Klepa et al. (2017; 2019).

Definiu-se também um molde padrão através apontamentos e pesquisas apresentadas por Castro (2002), em que relata a medida padrão de uma célula fotovoltaica com medidas 10 x 10 cm de fundo com 1cm de altura, afim de analisar possíveis alterações nas características e medidas elétricas apresentadas pela amostra desenvolvida.

Para a diferenciação entre os agregados resíduos da construção civil (RCC) foram chamados respectivamente de RCC alvenaria e RCC cerâmica.

Foi definida primeiramente a concentração de 0,2 mol/L, calculada a massa de 2,2g de ZnO para ser misturada com 50 mL de álcool etílico dentro de um béquer e colocados em um

agitador magnético por um período de 1 hora com a finalidade de se obter um gel viscoso (metodologia sol-gel).

Foram realizadas medidas das massas dos agregados em porcentagens iguais 50%, misturadas e lavadas com água purificada e peróxido de hidrogênio (H_2O_2), a fim de serem retirados os materiais orgânicos de suas composições. Após isso, as amostras foram confinadas em uma estufa, a uma temperatura de $100^\circ C$ até secagem.

Finalizado processo de secagem na estufa, o molde padrão foi colocado em uma mufla a uma temperatura de $1200^\circ C$ por 2 horas para ser calcinados.

Para indução nas amostras e/ou extrações de medidas elétricas, manteve-se em um dos lados de todas as 5 amostras com NaCl, e do lado posterior a cada uma, utilizou-se respectivamente NaCl, ZnO, $CuSO_4$, CuO, MnO ambos com 1g cada afim de que possam apresentar características elétricas, entre elas uma d.d.p (diferença de potencial), e possíveis alterações.

3.4.1 Coleta de dados e medição da eficiência energética

Para escolha de coleta e medição da eficiência energética apresentada pelos materiais desenvolvidos, optou-se em aplicar métodos utilizados por Al-Khanbashi et al. (2014) e Belaqziz et al. (2018).

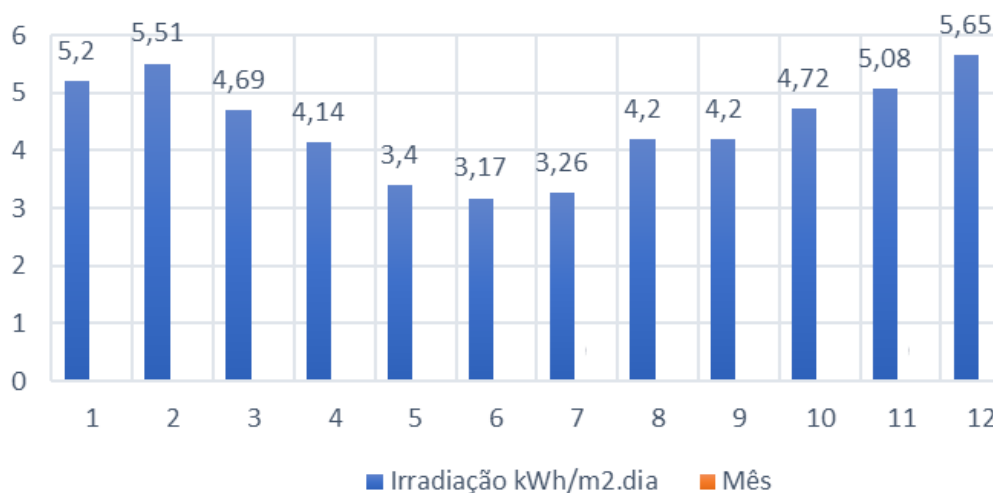
Os materiais desenvolvidos foram expostos à radiação solar, em dias ensolarados, das 08h até as 18h, quando possível (nublado). As medidas foram realizadas utilizando-se de equipamentos como multímetros da Minipa ET-1400 com precisão de 0,5% (escalas de 200mV a 500V, $2000\mu A$ a 10A), relógio da Minipa termo-higrômetro MT-241 com faixa de leitura de $-50^\circ C$ a $70^\circ C$, resolução $0,1^\circ C$ e precisão de $\pm 2,0^\circ C$, termômetro infravermelho Hikari -HT-455 ($-20^\circ C \sim 550^\circ C$), medidor de energia solar MES-100 da Instrutherm com escala $2000 W/m^2$, resolução de $1W/m^2$, e precisão de $\pm 10W/m^2$.

As medidas foram realizadas de 10 em 10 min, durante o ciclo solar diário. Procurou-se coletar algumas medidas em dias diferentes em um mesmo mês, o que ocorreu durante vários meses por ano. Montou-se gráficos da variação de potência diária para cada mês estudado usando a média da potência horária diária através da unidade kW.h.dia.

De posse das médias de potência horária diária de cada mês apresentada por Cresesb (2018), é possível realizar uma média da potência total anual, e realizar comparações sobre a irradiação solar média $kW.h/m^2.dia$, conforme apresentado na Figura 37, e a partir desse

dado, calcular a eficiência apresentada pela amostra desenvolvida através das Equações 28 e 29. Observa-se ainda, que os meses de junho e julho indicaram menor incidência de radiação Solar, porém, sendo 60% da maior radiação apresentada durante o ano.

Figura 37 – Irradiação Solar no plano horizontal dos meses e a média na cidade de Guarulhos.



Fonte: Adaptado da (Cresesb, 2018).

Através de observações e análises de medidas elétricas coletadas das amostras, serão apresentados gráficos para realizar comparações com outras células fotovoltaicas (FV) comercializadas.

Para o cálculo de potência absorvida e eficiência em porcentagem apresentado pelas amostra, elaborou-se a partir das equações 5 e 6, respectivamente voltagem e potência, as Equações 28 e 29 para coletar medidas elétricas das amostras:

$$\text{Potência absorvida} = \frac{\text{Watts.hora}}{\text{área da célula}} = \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2} \quad (28)$$

$$\text{Eficiência \%} = \frac{\text{Potência absorvida} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]}{\text{Irradiação solar média mensal} [\text{kWhm}^2.\text{dia}]} \times 100 \quad (29)$$

A partir dos dados de radiação Solar coletados através do site Cresesb (2018), calculou-se o rendimento da eficiência energética de cada célula (amostra) desenvolvida.

Anotou-se a Latitude (-23,4533) e Longitude (-46,5721) para usar o valor real da área exata de coleta de dados. Evidenciou-se também a presença de nuvens, vento, diminuição da temperatura, entre outros.

Após medição da eficiência energética (EE), classificou-se as células de acordo com a norma INPI. Para tanto, foi realizada também uma análise dos módulos fotovoltaicos (MF) testados pelo Inmetro, através de uma comparação entre os três tipos de MF silício monocristalino, policristalino, e filmes finos comercialmente disponíveis no mercado, verificando-se a EE e quais empresas são certificadas.

Com a finalidade de auxiliar empresas e usuários está estampado no Quadro 2 as classificações que um MF pode possuir, classificados de “A” à “E”, distinguidos através do material que são fabricados, podendo ser silício cristalino (SC), silício monocristalino (SM) ou policristalino (SP), e com filmes finos (FF).

A regra elaborada segue uma sequência de letras entre “A” até “E”, sendo “A” o mais eficiente e indicado pelo Inmetro. O índice de módulo deve ser comparado com a EE entre os de silício cristalino (mono e poli), e filmes finos. Os mais utilizados comercialmente são os MF da classe “A” fabricados com silício mono e policristalino, que apresentam um índice de EE maior que 13,5 % e maior potência (INMETRO, 2016).

Para avaliar a EE das células FV, o Inmetro utiliza um índice de módulo, que classifica em “A”, “B”, “C”, “D” e “E” os níveis de eficiência energética de dois tipos de módulos, silício cristalino (monocristalino ou policristalino), e filmes finos, que está representado no Quadro 2.

Quadro 2. Eficiência energética de módulos de sistemas fotovoltaicos de acordo com o Inmetro.

CLASSES	ÍNDICE DE MÓDULO		SILÍCIO CRISTALINO		FILMES FINOS	
	SILÍCIO CRISTALINO	FILMES FINO	TOTAL	%	TOTAL	%
A	EE > 13,5	EE > 9,5	442	85,5	6	37,5
B	13,5 >= EE > 13,0	9,5 >= EE > 7,5	23	4,4	2	12,5
C	13,0 >= EE > 12,0	7,5 >= EE > 6,5	27	5,2	1	6,25
D	12,0 >= EE > 11,0	6,5 >= EE > 5,5	8	1,5	3	18,75
E	EE < 11,0	EE < 5,5	17	3,3	4	25,0
			517	100	16	100

Fonte: Inmetro (2016)

Outro método para obtenção da certificação é seguindo-se as regras da Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL, que estabelecem as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica industrial e residencial, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

Através destas informações este trabalho objetiva orientar empresas sobre a importância da utilização de fontes de energia renováveis para reduzirem os impactos ambientais gerados pelas emissões de gases de efeito estufa (GEE), em especial, a utilização da célula FV podendo conseguir por meio dessas práticas, certificações de selos solares, redução dos custos com energia elétrica convencional, competitividade e produtividade na ótica dos clientes preocupados com a sustentabilidade, aquisição de créditos de carbono (CC), além de reconhecimento socioambiental e sustentável em toda sociedade.

3.4.2 Identificação de material absorvivo utilizando Transformada de Fourier por Infravermelho FT-IR

A espectroscopia na região de infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR) segundo Chen e Mckeever (1997) e Klepa et al. (2019), pode ser utilizada para a identificação de compostos orgânicos, inorgânicos e poliméricos.

É uma técnica de controle de qualidade de produtos, a qual também foi utilizada neste trabalho, para avaliar a composição do material absorvivo. Será utilizada também para caracterizar as diferenças ocorridas nas diferentes amostras obtidas após excitação térmica.

Basicamente o que se mede nesta análise é a fração de energia transmitida ou absorvida em relação à incidente em determinado comprimento de onda (λ) ou número de onda. Diversos estudos foram publicados, devido à capacidade da técnica em detectar mudanças estruturais decorrentes de diferentes tratamentos como térmicos e químicos.

Para tanto, será utilizado um espectrômetro modelo Nicolet iS5. Os espectros de FTIR serão comparados com as bibliotecas existentes para os compostos químicos que foram utilizados no desenvolvimento do material absorvivo como NaCl, ZnO, CuSO₄, CuO, MnO.

3.4.3 Identificação de material absorvivo utilizando Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Para realização das análises, as amostras foram coladas sobre uma fita condutora de carbono, previamente fixada sobre um porta amostras de alumínio. As imagens foram obtidas por meio de detector de elétrons retroespalhados *Backscatter Elétron Detector* (BSED), que representam imagens de composição, onde o contraste é produzido pelo número atômico dos elementos presentes na amostra.

As análises da composição semi-quantica foram realizadas por espectrometria de energia dispersa *Energy Dispersive Spectrometry* (EDS) em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) modelo QUANTA 400 FEG da marca FEI, com tensão de aceleração de 15kV, distância de trabalho de 12 mm e modo de operação *High Vacuum* (alto vácuo).

3.4.4 Análise dos custos

Para a análise da viabilidade do processo produtivo da realizou-se um levantamento de informações sobre os principais conceitos e fatores utilizados para se verificar a rentabilidade de um produto levando em consideração a realidade de uma pequena empresa localizada em Barueri, tal localização foi escolhida por possuir uma grande empresa de reciclagem de resíduo da construção civil, tendo portanto fácil acesso dos fornecedores de matéria-prima.

Para tanto, elaborou-se um fluxograma de produção de industrial tendo como base os apresentados neste estudo para a produção da matéria-prima absorviva e os já utilizados em grandes empresas, a fim de se verificar o investimento inicial da empresa.

Realizou-se também a estimativa de tempo de produção para indicar a quantidade diária produzida e dessa forma embasar os cálculos de viabilidade.

A avaliação dos custos da produção da matéria-prima para a produção de produtos absorvivos está fundamentada na operacionalização dos recursos econômicos que compõem os custos fixos e variáveis. Na estimativa dos custos fixos foram analisados os recursos que fazem parte do processo produtivo como: depreciação e manutenção de equipamentos, honorários de contador, pessoal com encargos do escritório e limpeza, água, e despesas administrativas. Para efeito de cálculos dos custos com salários, considerou-se o mês como tendo 22 dias úteis. Os encargos trabalhistas sobre esses salários foram de 96,75% (ALMEIDA, 2012).

Quanto aos custos variáveis, considerou-se as despesas com matéria-prima e insumos utilizados na produção, com encargos trabalhistas, água utilizada na produção e demais despesas gerais, conforme ALMEIDA (2012). Com isso, o custo total pode ser elaborado através da equação abaixo.

$$\text{Custo Total} = \Sigma \text{ custo empregados} + \Sigma \text{ custo fixos} + \Sigma \text{ custo material (matéria prima)} \quad (30)$$

Para cálculo do preço mínimo da célula fotovoltaica (FV) desenvolvida com medidas de 10 x 10 cm representado na Equação 31, através da composição de preço dos materiais utilizados na obtenção de cada célula. Os materiais RCC alvenaria e cerâmica, foram adquiridos a preço de R\$ 25,00 a tonelada, e para reduzir-se ainda mais os custos na composição do material desenvolvido para esta tese, utilizou-se de compostos químicos para confecções e elaboração, aplicados para Artes e *design*, NaCl, ZnO, CuSO₄, CuO e MnO.

$$\text{Preço mínimo} = \frac{\text{Custo Total}}{\text{Produção}} \quad (31)$$

Para se identificar o preço de venda deve-se levar em consideração o custo do produto, custo de comercialização, margem de lucro desejado e o lucro operacional, este último por sua vez, é a diferença entre a receita operacional, que é o faturamento total da empresa, e o seu custo total (custos fixos, pagamento de pessoal, matéria-prima, entre outros) antes do pagamento da Contribuição Social Sobre o Lucro (OLIVEIRA NETTO ; TAVARES, 2006).

Para o cálculo do investimento inicial foram realizados orçamentos com empresas da área de fabricação de materiais absortivos. Assim como um levantamento de preços de mercado dos insumos e matéria-prima, para o cálculo dos custos variáveis. Levou-se em consideração para o levantamento de preços do barracão comercial através de imobiliárias do Estado de São Paulo, local onde se considerou o estabelecimento da produção. Para o cálculo de consumo de água as taxas cobradas pela SABESP e os valores dos demais materiais foram consultados sites de empresas do comercio paulista.

Com base nos dados calculados é possível prever a receita operacional do processo de extração do material absortivo desenvolvido, bem como o ponto de equilíbrio da produção e a taxa de rentabilidade, traçando-se assim a viabilidade do negócio.

$$PV = \frac{\text{custo unitário do produto}}{1 - (\text{fração de impostos} + \text{fração da margem de lucro})} \quad (32)$$

CAPÍTULO IV
RESULTADOS E DISCUSSÃO

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Espera-se obter um material absorvivo, de baixo custo, com características sustentáveis, que poderá ser utilizado como matéria-prima na construção de células FV (fotovoltaicas) a partir da reutilização de resíduos da construção civil (RCC). Esse material será obtido através de um planejamento de experimentos, variando-se suas massas dos RCC, sais, óxidos, entre outros que forem necessários. Pretende-se aplicá-lo em diferentes setores indústrias e, até mesmo, residências, afim de reduzir o consumo energético convencional, contribuindo para matriz energética no país.

4.1. Estudo de propriedades reflexivas a partir de material RCC.

Através de estudo e experimentos realizado previamente, descobriu-se respectivamente amostras de material que apresentou características tanto reflexivas quanto absorvivas. Sendo que a primeira, comprovou-se sua viabilidade no processo produtivo por ser 30 vezes menor que um material fotoluminescente (sensor termoluminescente) utilizado em rodovias, e fabricado a um custo alto de 4800,00 R\$/kg. Uma contabilidade demonstrou que ao se comercializar tal material reflexivo, poderá haver um movimento mensal de R\$ 3,2 milhões, obtendo-se um lucro mensal de R\$ 800 mil. Com isso, em 2017 foi solicitado a patente de PI:BR10201700334, como patente verde, podendo ser aceita mundialmente através de um acordo entre países firmado desde 2015, e que depois gerou o artigo: Klepa, R. B.; Medeiros, M. F. ; Franco, M. A. C. ; Tamberg, E. T. ; Farias, T. M. B.; Paschoalin Filho, J. A.; Berssaneti, F. T.; Santana, J. C. C. *Reuse of construction waste to produce thermoluminescent sensor for use in highway traffic control. Journal Of Cleaner Production*, v. 209, p. 250-258, 2019.

A segunda característica, absorviva, apresentou potencias excelentes e, com possibilidades para o desenvolvimento de uma célula solar fotovoltaica (FV) sustentável, tornando-se o principal foco de estudo para esta tese.

A presente patente de invenção diz respeito a um processo de reutilização de RCC para a preparação de um material com alta capacidade reflexiva que poderá ser utilizado principalmente como matéria-prima na confecção de adesivos, faixas, placas, roupas, Equipamentos de Proteção Individual (EPI), tachas refletivas (comumente conhecidas como

“olho-de-gato”) em rodovias, geralmente utilizadas como sensores de sinalização, entre outras aplicações.

Podendo ser utilizada também em diversas áreas e aplicações como, física, química, construção civil, aérea, espacial, caminhões, ônibus, entre outras.

Sabe-se que os RCC além de ocuparem grandes espaços físicos, acabam sendo o principal foco de proliferação de doenças. A eliminação desse rejeito tornou-se um problema para as grandes cidades, pois seu destino final são quase sempre os aterros e lixões. Afim de reduzir seus impactos ambientais são necessárias a criação de formas de reutilização desse rejeito, sendo uma delas, a criação de uma patente verde através do desenvolvimento de um processo de preparação de um material com alta capacidade reflexiva que poderá ser utilizado como matéria-prima na confecção de faixas, placas, tachas refletivas em rodovias, e em diversas outras áreas e aplicações.

Pensando nisso, surgiu a idéia de reutilizar tais resíduos da construção através de mistura com o óxido de zinco (ZnO) em porcentagens diferentes para se obter um material com poder refletivo, podendo servir de matéria prima para a confecção de faixas e placas refletivas utilizadas como sensores para orientação de tráfego em rodovias. Existem diversos tipos de sensores que auxiliam os condutores de veículos durante o tráfego nas rodovias, dentre eles encontram-se os sensores de orientação de tráfego, os quais são compostos por uma faixa que reflete a luz acoplada a uma base estrutural fixa ao chão.

O ZnO é uma das substâncias mais empregadas para a manufatura dessas faixas e placas, devido a sua habilidade em refletir a luz. Afim de encontrar a melhor composição para o desenvolvimento do material, foi realizado um Planejamento Fatorial variando-se as massas do RCC e do ZnO. Através deste método, e com o auxílio de análises de termoluminescência, obteve-se um material refletivo de boa qualidade, que poderá contribuir para a redução dos impactos ambientais causados pelo descarte do RCC.

O material reflexivo desenvolvido foi obtido através da metodologia sol-gel. Foram definidas concentrações de massa através da relação (mol/L) para o cálculo correto da massa de ZnO necessária para a mistura.

Após secagem do sol-gel e dos resíduos de cerâmica e alvenaria, foi utilizado um planejamento fatorial (PF) misturando-se o ZnO com os resíduos, efetuando diversas variações de suas massas, e obtendo como resposta a porcentagem de luminescência de cada ensaio realizado pelo PF.

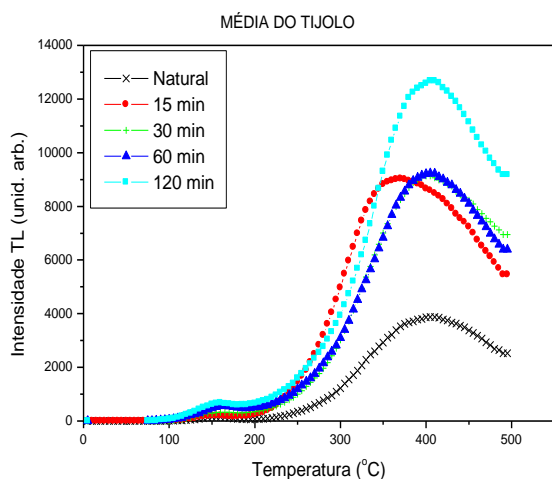
Após finalizado o PF, as amostras foram irradiadas com UV (ultravioleta), e efetuadas leituras no leitor de TL (termoluminescência) e também no espectrômetro de infravermelho transformada de Fourier por infravermelho (FT-IR). Após irradiadas as amostras através de UV, foram efetuadas leituras através do leitor de TL, e com auxílio de software Microcal Origin® foram efetuados os gráficos de intensidade de TL em função da temperatura, e intensidade de TL em função do tempo exposto à radiação conforme figuras ilustradas a seguir.

As figuras demonstradas a seguir comprovam a eficiência e aplicabilidade do material desenvolvido a partir de resíduo da construção civil, e que pode ser utilizado como patente verde.

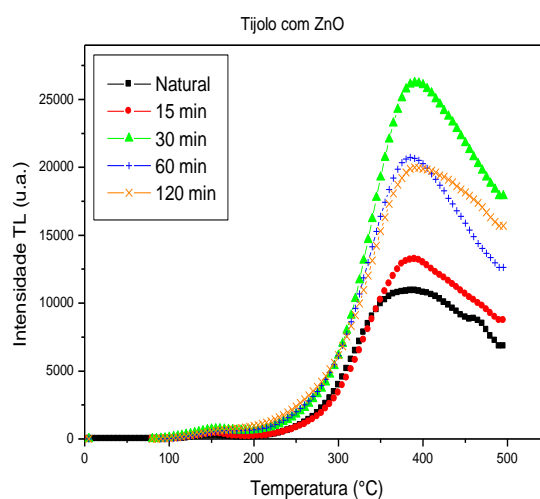
Como se pode observar, para ambas as figuras de intensidade de TL (termoluminescência) em função da temperatura ($^{\circ}\text{C}$), o pico central ocorreu a uma temperatura de aproximadamente 400°C . Conforme Figura 38, para amostra de tijolo, a maior intensidade de TL ocorreu durante o período de 120 minutos, ≈ 13.000 (unid. arb).

Pode-se observar também que na Figura 38(a) ocorre um pequeno desvio na temperatura máxima de emissão de luz TL após a irradiação de 15 minutos com UV.

Figura 38 – Curva de emissão de luz TL (termoluminescência) para amostra de tijolo: (a) produzido em laboratório sem impurezas; (b) produzido em laboratório contendo ZnO comercial.



38(a)



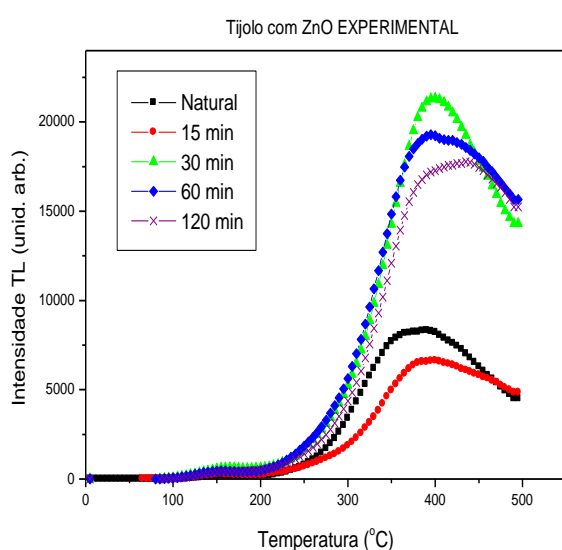
38(b)

Fonte: (Klepa et al.,2019)

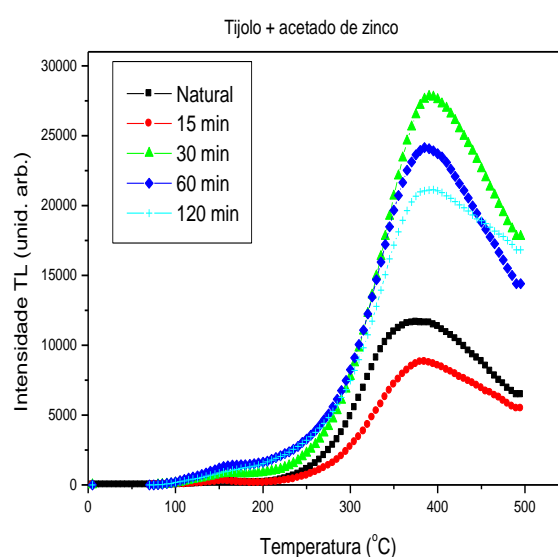
Pode-se observar, através da Figura 38(b) que referente à amostra de tijolo junto com ZnO comercial, a maior intensidade de TL ocorreu com exposição da amostra por um período de 30 minutos, ≈ 26.000 intensidade de TL (unid.arb.).

Analisando-se o tijolo junto com ZnO experimental (sol-gel), observa-se que apresentou maior intensidade de TL, ≈ 22.500 (unid.arb.), para radiação UV com tempo de 30 minutos, conforme Figura 39(a).

Figura 39 – Curva de emissão de luz TL para amostra de tijolo: (a) produzido em laboratório contendo ZnO produzido através do método de sol-gel; (b) produzido em laboratório contendo Acetato de Zinco.



39(a)



39(b)

Fonte: (Klepa et al.,2019)

Observa-se um aumento significativo da emissão de luz perante as outras amostras, com intensidade de TL, ≈ 22.500 (unid.arb.) por um período de 30 minutos em UV, conforme Figura 39(b).

Através do planejamento fatorial, prepararam-se 11 ensaios que podem ser observados nas Figuras 40 a 50. Esses ensaios serviram para a escolha da melhor composição a ser testada após exposição à luz UV.

Observando as Figuras 40 e 41 pode-se observar que a inclusão de compostos de ZnO produz um aumento na emissão de luz com excitação por calor, observados anteriormente nas figuras 39a e 39b.

Figura 40 - Curva de emissão de luz TL para amostra de tijolo contendo 9 % de ZnO.

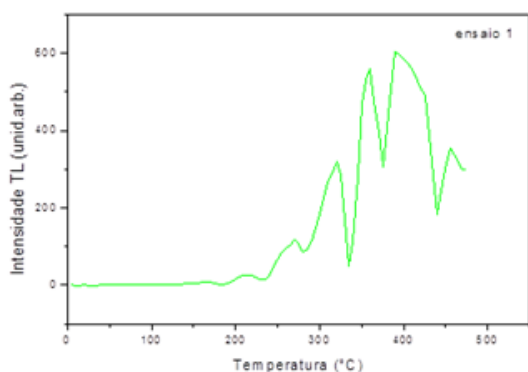
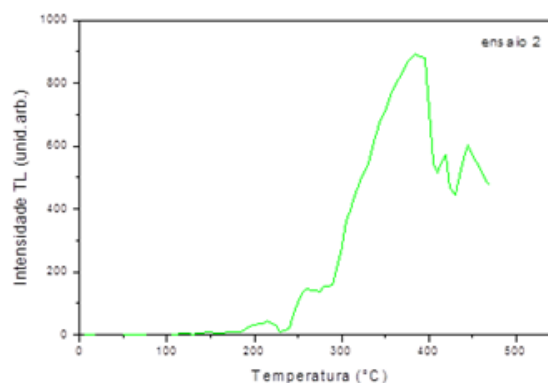


Figura 41 - Curva de emissão de luz TL para amostra de tijolo contendo 4,5 % de ZnO.



Fonte: (Klepa et al.,2019)

As Figuras 42 e 43 pode-se observar a inclusão de ZnO em tijolos em que se variou apenas a concentração de massa de resíduos de RCC e alvenaria, não se observam variações em intensidades de emissão de luz, no entanto a amostra contendo concentrações iguais de alvenaria e cerâmica apresentou múltiplas emissões (Figura 43).

Figura 42 - Curva de emissão de luz TL para amostra de tijolo contendo 4,5% de ZnO.

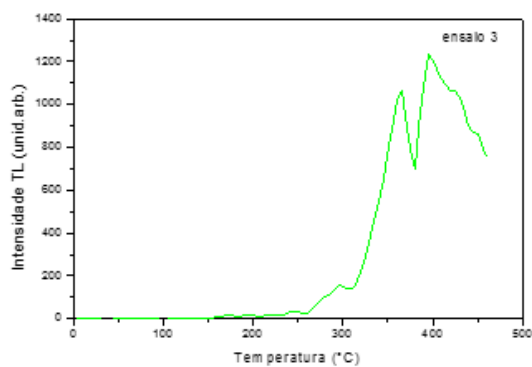
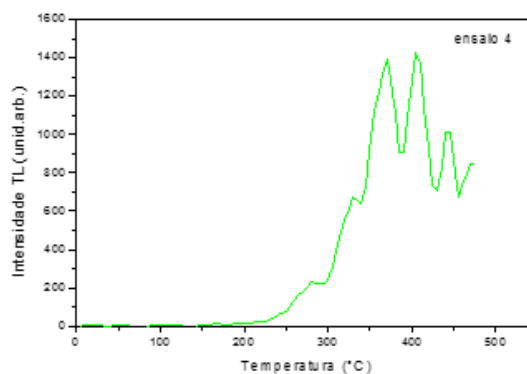


Figura 43 - Curva de emissão de luz TL para amostra de tijolo contendo apenas resíduos de RCC.



Fonte: (Klepa et al.,2019)

As Figuras 44, 45 e 46 representam as emissões de luz por tijolos contendo as mesmas proporções de cerâmica e alvenaria e 4,5% de ZnO. Nota-se que, mesmo contendo proporções idênticas, as emissões são divergentes.

Figura 44 – Curva de emissão de luz TL para amostra de tijolo contendo 4,5% de ZnO.

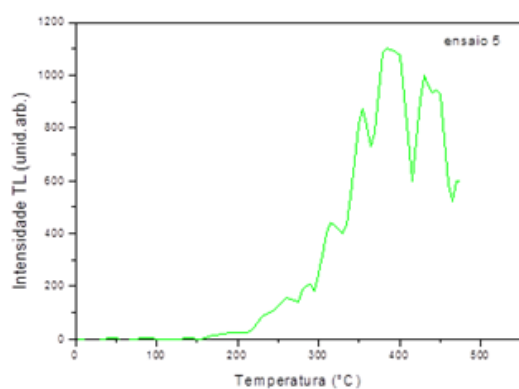


Figura 45 – Curva de emissão de luz TL para amostra de tijolo contendo 4,5% de ZnO.

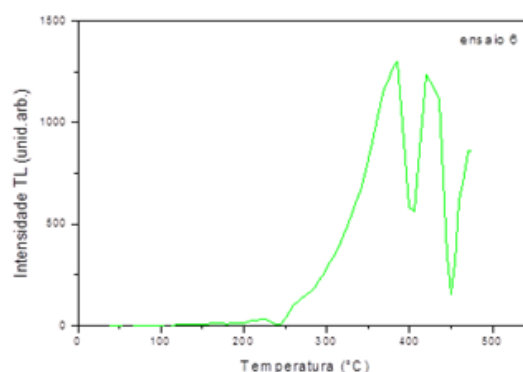
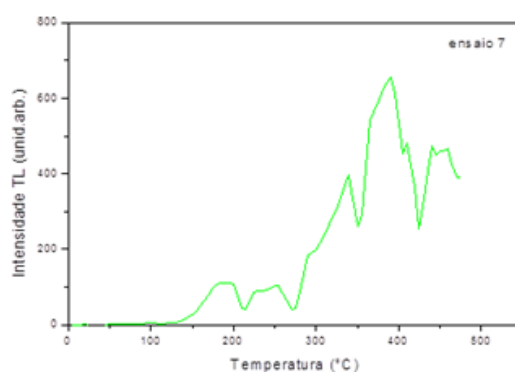


Figura 46 – Curva de emissão de luz TL para amostra de tijolo contendo 4,5% de ZnO.



Fonte: (Klepa et al.,2019)

Observando a Figura 47 e comparando com os demais ensaios, pode-se notar que o tijolo contendo 7,7% de ZnO possui baixa emissão de luz, no entanto apresenta as emissões em regiões de temperatura semelhantes às demais amostras.

A Figura 48 mostra a emissão de luz por excitação térmica em uma amostra contendo 1,31% de ZnO e uma mistura de cerâmica e alvenaria. Pode-se notar que a amostra possui picos de emissão bem definidos e intensidade alta comparada com os demais ensaios.

Figura 47 – Curva de emissão de luz TL para amostra de tijolo contendo 7,7% de ZnO.

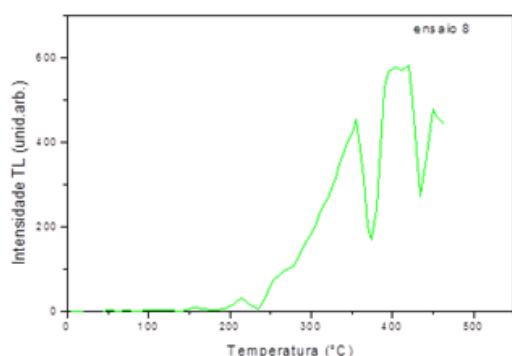
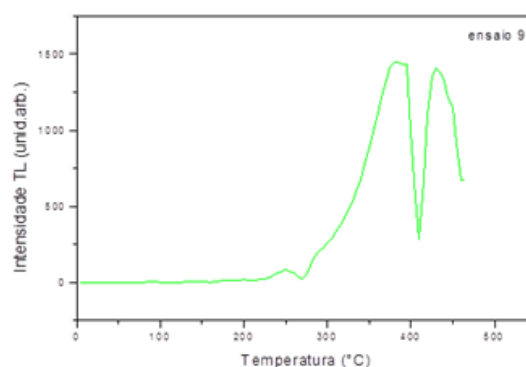


Figura 48 – Curva de emissão de luz TL para amostra de tijolo contendo 1,31% de ZnO.



Fonte: (Klepa et al.,2019)

As Figuras 49 e 50 apresentam as emissões das amostras que possuem como composição majoritária resíduos de construção civil (RCC) de alvenaria, variando apenas a concentração de compostos de ZnO.

Pode-se observar também que, quanto maior a adição de compostos de ZnO, menor será a emissão de luz por excitação térmica, o que sugere que a inclusão de compostos de ZnO com resíduos de alvenaria não produzem material com poder refletivo.

Figura 49 – Curva de emissão de luz TL para amostra de tijolo contendo 7,68% de ZnO.

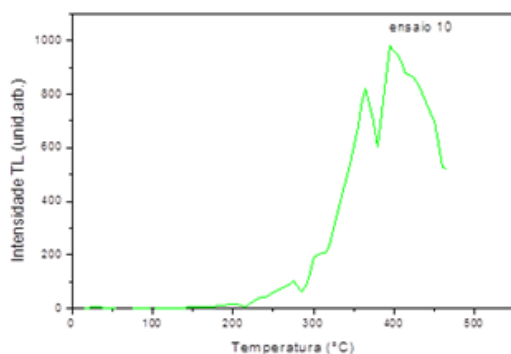
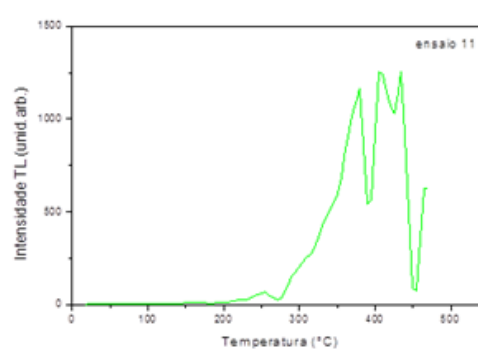


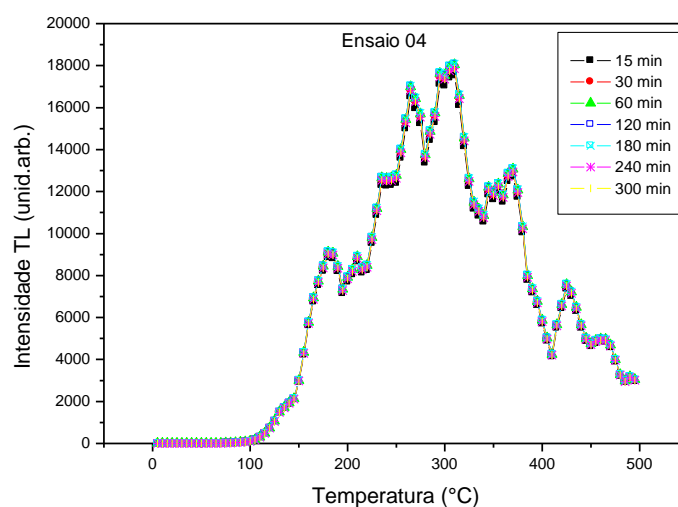
Figura 50 – Curva de emissão de luz TL para amostra de tijolo contendo 1,31% de ZnO.



Fonte: (Klepa et al.,2019)

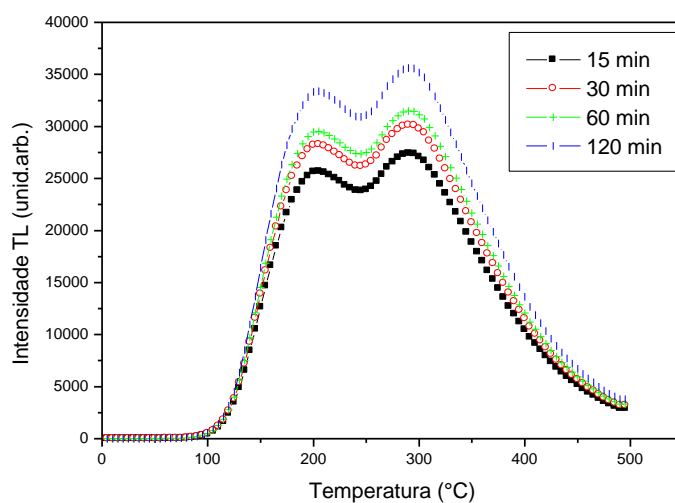
Através dos resultados obtidos anteriormente podem-se escolher os ensaios 04 (Figura 43) e 09 (Figura 48) como sendo as melhores condições para a obtenção de um material refletivo através do resíduo (RCC). Após a escolha, separaram-se alíquotas desses ensaios e as amostras foram irradiadas com UV em diferentes intervalos de tempo, conforme se observa nas Figuras 51 e 52.

Figura 51– Curva de emissão de luz TL para amostra de tijolo contendo resíduos RCC de cerâmica e alvenaria.



Fonte: (Klepa et al.,2019)

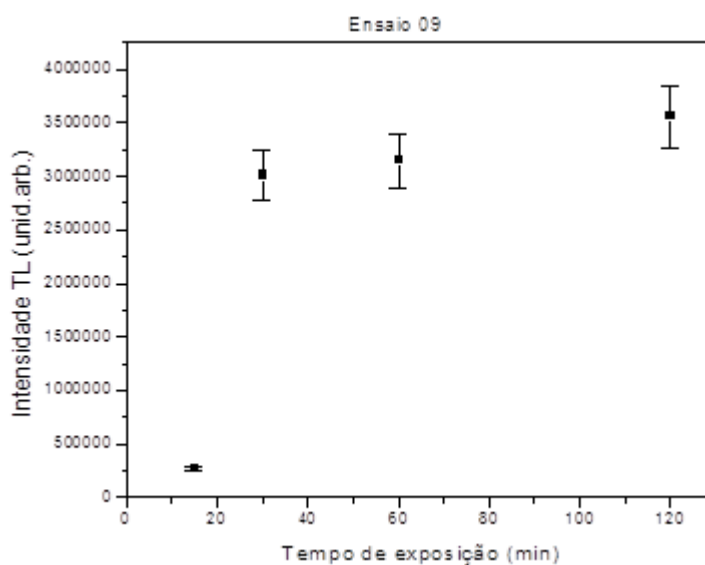
Figura 52– Curva de emissão de luz TL para amostra de tijolo contendo resíduos de cerâmica, alvenaria e 1,31% de ZnO.



Fonte: (Klepa et al.,2019)

Observa-se na comparação das Figuras 51 e 52 que o tijolo composto apenas de resíduos de construção civil não possui aumento de emissão de luz com excitação térmica, após a sua exposição à luz UV, no entanto o tijolo que possui uma inclusão de compostos de ZnO possui um aumento nessa emissão, conforme pode ser também observado na Figura 53.

Figura 53 - Intensidade de TL em função do tempo exposto à radiação UV para o tijolo contendo resíduos de cerâmica, alvenaria e 1,31% de ZnO.

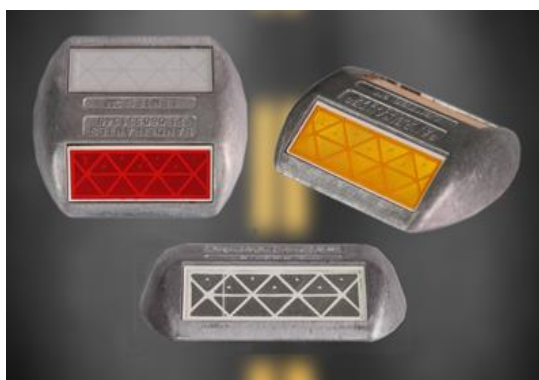


Fonte: (Klepa et al.,2019)

O material refletivo desenvolvido nesta pesquisa possui diversas aplicações em diferentes áreas, pode também ser utilizado para a construção de tachas refletivas de acordo com a norma ABNT NBR 14636:2000, com caráter totalmente sustentável por se tratar de um resíduo que é descartado pelas indústrias da construção civil muitas vezes ilegalmente, poluindo e denegrindo o meio ambiente.

Comumente conhecida como “olho-de-gato”, a tacha refletiva é definida como um dispositivo auxiliar à sinalização horizontal, fixado à superfície do pavimento. Consiste em um corpo resistente aos esforços provocados pelo tráfego, possuindo uma ou duas faces nas cores compatíveis com a marca viária conforme ilustrado na Figura 54.

Figura 54 - Imagem da tacha refletiva com dupla face nas cores branca, amarela e vermelha.



Fonte: (Klepa et al.,2018; Bandeirantes, 2019)

Logicamente, este material desenvolvido pode ser utilizado para elaboração em tamanhos e capacidade diversas para atender diferentes necessidades dos usuários para construção de faixas, placas, tachas refletivas (comumente conhecidas como “olho-de-gato”) para sinalização em estradas e rodovias, adesivos, roupas, EPI’s, caminhões, ônibus, além de poder ser utilizado em diversas outras áreas e aplicações como, física, química, construção civil, aérea, espacial, entre outras.

4.2. Estudo das Normas Fotovoltaica (FV)

Partindo-se de material desenvolvido que apresentou características absorptivas, surgiu-se a ideia de gerar energia FV a partir de resíduos da construção civil (RCC). Com isso, surgiu também a necessidade de utilizar as normas do Inmetro afim de seguir uma padronização, utilizando-se de artigo publicado como capítulo de livro em 2017 na editora Poisson: Klepa, R. B.; Prazeres, K. C.; Silva, T. A. F.; Santana, J. C. C. Comparação entre os módulos de células fotovoltaicas classificados pelas normas Brasileiras. Sustentabilidade e responsabilidade Social, *Editora Poisson*, v. 2. 1ª edição, 269p., 2017.

Os painéis solares FV que recebem o Selo Procel de Eficiência Energética também precisam ter a classificação A de eficiência de energia na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). Este selo de conformidade classifica os equipamentos, veículos e edifícios em faixas coloridas, em geral de A (mais eficiente) até E (menos eficiente), e fornece outras informações relevantes.



A eficiência dos módulos fotovoltaicos (MF) é definida através da tecnologia de fabricação das células que as compõem, ou seja, a tecnologia utilizada definirá o quanto o módulo irá aproveitar da irradiação solar incidida sobre ele para transformá-la em energia elétrica. Para um módulo que apresenta eficiência de 13%, consegue transformar esse percentual de irradiação solar incidida sobre ele em energia elétrica (Procel Info, 2018).

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) integra consumidores e fornecedores com objetivo de melhorar continuamente os produtos da indústria brasileira, através de vantagens econômicas e ambientais, tornando os consumidores exigentes e com isso, apresentando um diferencial competitivo para as empresas.

Segundo Okigami (2015), o PBE fornece informações sobre o desempenho dos equipamentos, considerando a eficiência energética (EE), o ruído e outros critérios. A etiquetagem de equipamentos constitui-se como instrumento de que o Brasil faz uso para a

promoção da EE, complementados pela distinção promovida pelos Selos Procel, Ence e Conpet. Estampado na Tabela 1 os selos Procel e ENCE importantes na realização deste trabalho.

Tabela 1 - Articulação entre o PBE, Selos e Lei de Eficiência Energética

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica	ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
 <p>Selo PROCEL</p>	
<p>Tem por finalidade informar a eficiência energética e/ou o desempenho térmico de sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica.</p>	<p>Uma ferramenta simples e eficaz que permite ao consumidor conhecer, equipamentos mais eficientes e que consomem menos energia.</p>

Fonte: Adaptada INMETRO (2018)

A Tabela 2 apresenta o resultado de sete das 103 empresas, 116 marcas e 702 modelos testados pelo Inmetro. A empresa Yomacama Empreendimento LTDA., e a Kyocera Solar do Brasil LTDA., produzem o módulo fotovoltaico (MF) com as cinco classificações (“A”, “B”, “C”, “D” e “E”), silício monocristalino (SMC) e silício policristalino (SPC) respectivamente, porém somente a classificação “A” possui selo Procel.

Assumindo que o consumo médio de uma residência brasileira seja de aproximadamente 150 kWh/mês (EPE, 2016), então podemos fazer a comparação entre os módulos fotovoltaicos (MF) de mesmo grau de certificação como segue.

Para o grau de certificação “A” referente a Eficiência Energética (EE) não há uma diferença significativa entre as empresas. Entretanto, o valor mínimo para o MF de silício se considerado da classe “A” é 13,5 e o mínimo para MF de filmes finos é 9,5, o que indica que o MF de filme fino (FF) da empresa First Solar Energia Brazil é 50% mais eficiente do valor exigido pelo Inmetro, o que é uma vantagem a ser usada no marketing comercial.

Entretanto não há diferença entre as potências medidas, indicando que o MF poli-Si é o que mais absorve energia solar, mas como a eficiência é semelhante entre as demais, logo, é a que mais perde potência na conversão.

Ao observar a produção mensal de energia percebe-se que o MF de filme fino (FF) produz 131 kWh/mês, sendo quase o suficiente para suprir o consumo médio de uma residência brasileira, indicando ser a melhor opção referente à classificação “A”.

Continuando a análise para a classificação “B” de EE, os MF de silício não há diferença, porém a de FF apresenta EE menor, entretanto está bem próximo do limite máximo para a classe “B” de acordo com o Inmetro. Com relação à potência, o FF apresenta maior valor e a conversão é baixa já que sua EE é baixa. Entretanto, esta falha é compensada pela geração de produção de energia mensal que supera as demais em 70%, indicando menor uso do MF.

Mesmo se comparando o MF de filme fino da classe “B” com o silício da classe “A”, o da classe “B” produz um pouco mais energia mensal indicando ser melhor que da classe “A”.

Dentre as demais classes destacam-se o MF filme fino da classe “C”, que produz 36 kWh/mês, e o MF filme fino da classe “D”, que produz 36,4 kWh/mês, que embora possuam baixa EE, ambos podem ser indicados para uso em residências, e seriam necessários apenas quatro MF, o que resultaria também em redução de custos.

Comparando a informação contida no Quadro 2 - Silício Cristalino, com a coluna do selo Procel -Tabela 2, observa-se que somente é concedido e incentivado o selo Procel classe “A” aos módulos fotovoltaicos (MF) que apresentem valores de eficiência energética (EE%) acima de 13,5%.

Não foi verificada a importância do selo para que um produto seja comercializado dentro das normas brasileiras exigidas pelo Inmetro, já que produtos não certificados são autorizados a serem comercializados, e sua eficiência energética (EE) é tão boa quanto à dos certificados pelo Procel.

Para alcançar a necessidade média de uma residência brasileira, basta realizar uma associação de um MF filme fino classe “A” (131 kWh/mês), com um MF filme fino classe “B” (17,7 kWh/mês).

Tabela 2 - Eficiência Energética dos Módulos Fotovoltaicos.

Empresa	Material	Potência (W)	Produção de energia (KWh/mês)	EE (%)	Classificação	Selo Procel
YOMACAMA EMPREENDIMENTOS LTDA.	mono-Si	50	6,255	14,93	A	SIM
KYOCERA SOLAR DO BRASIL LTDA.	poly-Si	140	17,5	14	A	SIM
FIRST SOLAR ENERGIA BRAZIL	Filme Fino	102	131	14,2361	A	SIM
YOMACAMA EMPREENDIMENTOS LTDA.	mono-Si	30	3,75	13,17	B	NÃO
KYOCERA SOLAR DO BRASIL LTDA.	poly-Si	84	10,46	13,4	B	NÃO
DUPONT DO BRASIL LTDA.	Filme Fino	142	17,7	9,1	B	NÃO
YOMACAMA EMPREENDIMENTOS LTDA.	mono-Si	80	10	12,34	C	NÃO
KYOCERA SOLAR DO BRASIL LTDA.	poly-Si	63	7,88	13	C	NÃO
BARBOSA & BARBOSA ENGENHARIA ELÉTRICA LTDA.	Filme Fino	288	35,99	7,2	C	NÃO
YOMACAMA EMPREENDIMENTOS LTDA.	mono-Si	40	5	11,95	D	NÃO
KYOCERA SOLAR DO BRASIL LTDA.	poly-Si	20	2,52	11	D	NÃO
BASE ENERGIA ALTERNATIVA	Filme Fino	291	36,38	6,3	D	NÃO
YOMACAMA	mono-Si	10	1,25	10,5	E	NÃO

EMPREENHIMENTOS LTDA.						
KYOCERA SOLAR DO BRASIL LTDA.	poly-Si	10	1,26	9,4	E	NÃO
SOLIKER BRASIL	Filme Fino	19,8	2,475	2,5045	E	NÃO

Obs: EE % (Eficiência Energética em porcentagem)

Fonte: Adaptada INMETRO (2018)

Além destas vantagens que podem ser abordadas pelas empresas que comercializam o MF filme fino podem citar também a redução de custos para o sistema de distribuição de energia elétrica de um país (AMERICA DO SOL, 2018).

a-) Redução de perdas por transmissão e distribuição de energia, já que a eletricidade é consumida onde é produzida;

b-) Redução de investimentos em linhas de transmissão e distribuição;

c-) Baixo impacto ambiental;

d-) Fornecimento de maiores quantidades de eletricidade nos momentos de maior demanda;

e-) Módulo FV possui previsão de funcionamento mínimo de 25 anos, que é o tempo de garantia fornecido por grande parte dos fabricantes de módulos fotovoltaicos.

f-) A não exigência de área física dedicada;

g-) Rápida instalação devido à sua grande modularidade e curtos prazos de instalação;

A implementação de células FV para redução de custos com energia elétrica está sendo cada vez mais simples, usual e reconhecida, não somente por empresas, mas por usuários que interpretam ser um recurso energético totalmente sustentável, correto e inesgotável, sem emissões de gases de efeito estufa (GEE) tornando-os livre da dependência dos combustíveis fósseis.

Dentre os certificados emitidos pela Procel com classificação “A” verificou-se que o melhor módulo fotovoltaico (MF) foi o filme fino (FF), pois em um único MF apresentou produção mensal quase suficiente para suprir a necessidade de uma residência brasileira.

Observou-se que dentre as demais classes que não são certificadas pela Procel os FF também se destacaram, sendo a produção de energia mensal de todos eles superior à de silício, inclusive os da classe “A”.

Constatou-se que é concedido e incentivado através do Inmetro o selo Procel classe “A” aos módulos fotovoltaicos (MF) que apresentaram valores de eficiência energética (EE%) acima de 13,5%, por possuírem melhor rendimento na conversão.

Além disso, conclui-se que o melhor conjunto de MF indicado de FF da classe “A” e o outro da classe “B” são suficientes para suprir a necessidade de produção mensal em uma residência brasileira com boa qualidade.

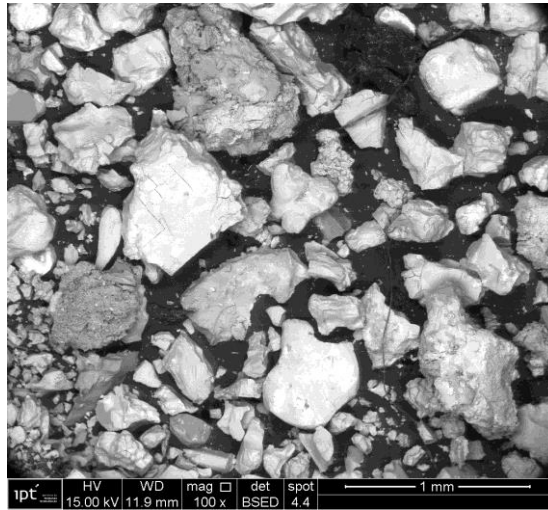
4.3. Testes com célula solar NaCl – NaCl

Inicialmente foi designado de NaCl-NaCl a amostra solar por ter sido aplicado em seus lados opostos o cloreto de sódio (NaCl) afim de se apresentar diferença de potencial (d.d.p) em suas extremidades, e também, verificar se através de observações e medidas elétricas, possíveis alterações físicas ou elétricas. As características físicas desta amostra apresentou respectivamente em área e massa um valor de $784,00\mu\text{m}^2$ e 14,00g.

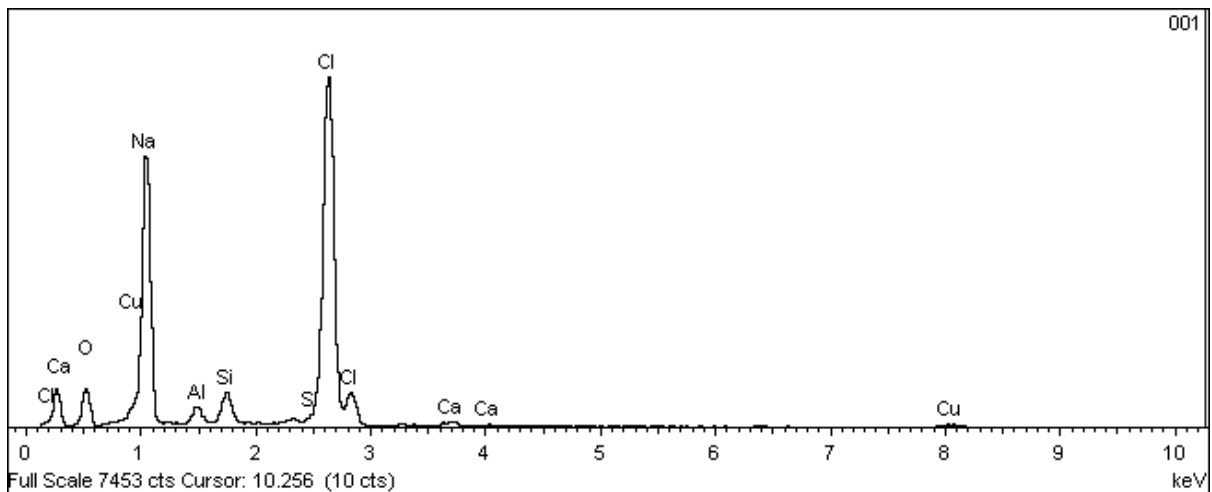
A Figura 55(a) ilustra imagem obtida através de detector de elétrons retroespalhados (BSED) utilizando-se a amostra de célula NaCl-NaCl.

Foram realizadas duas leituras de mesma amostra em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), que resultou em 2 gráficos por leitura, respectivamente representados na Figura 55(b1), (b2), (c1) e (c2). As Figuras 55(b1) e (c1) ilustram gráficos com picos dos elementos presentes na célula desenvolvida. Agora, as Figuras 55(b2) e (c2), ilustram gráficos contendo as porcentagens de cada elemento em peso (massa).

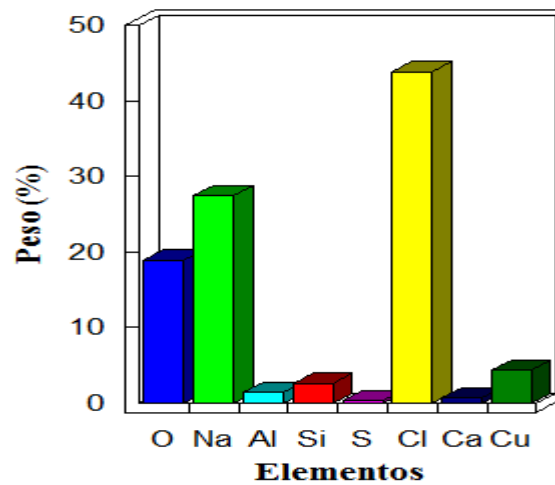
Figura 55 – (a) Ilustra imagem obtida através de detector de elétrons retroespalhados (BSED) a partir de uma amostra da célula NaCl-NaCl desenvolvida. (b1) e (c1) ilustram picos dos elementos presentes na amostra analisada. (b2) e (c2), ilustram gráficos contendo as porcentagens de cada elemento em peso (massa).



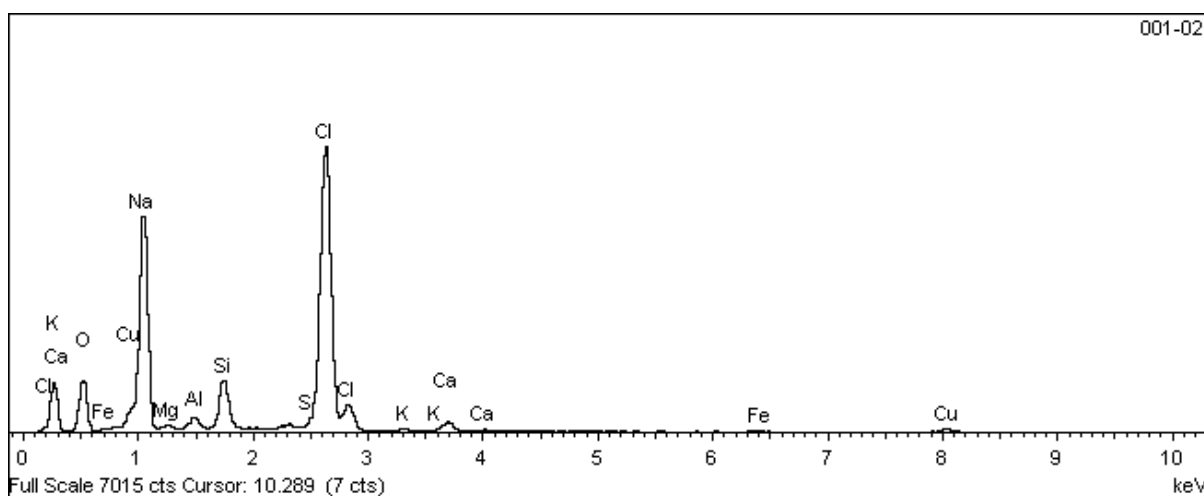
(a)



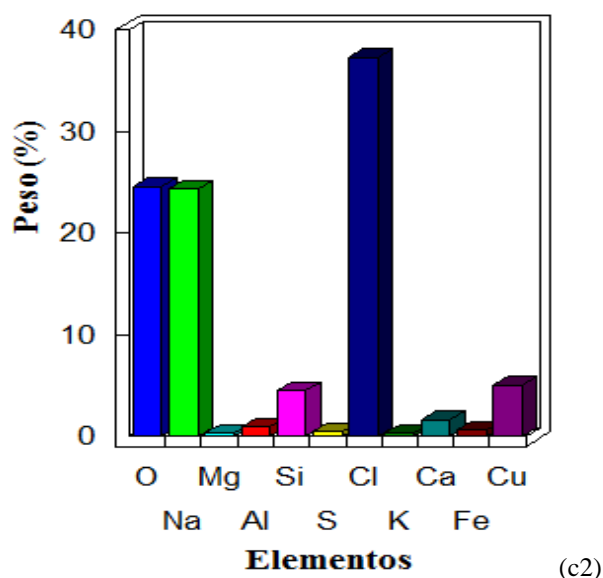
(b1)



(b2)



(c1)

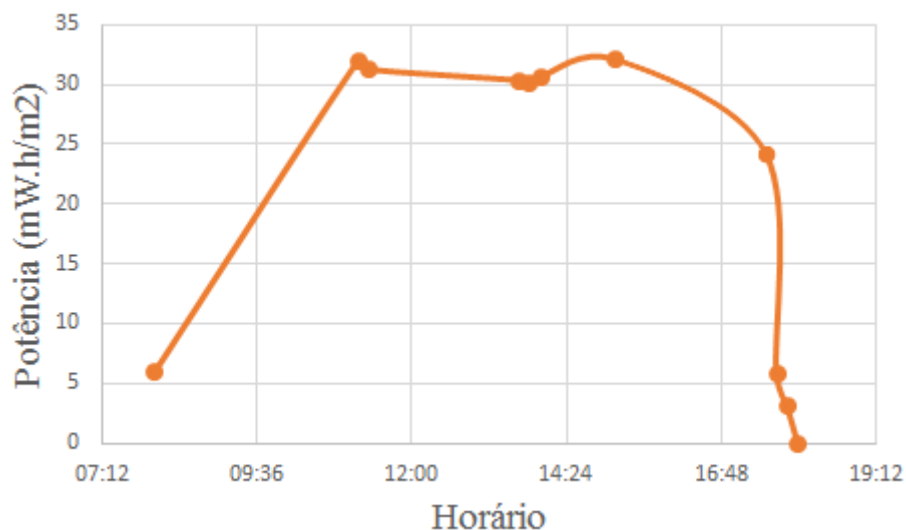


(c2)

A Figura 56, demonstra potência absorvida por hora, apresentada pela amostra durante o período exposto à radiação solar. Nota-se que essa curva característica é representada através de coleta de 6 medidas por (hora.dia) no mês de maio, registrando-se medidas de 10 em 10 minutos por um período das 8h às 18h.

Observou-se um aumento 5 vezes superior a potência inicial de 6mW.h/m^2 às 8h, passando-se para 31mW.h/m^2 às 11h, e permanecendo com uma média de 30mW.h/m^2 até às 17:30h. Observou-se também, eventuais diminuições da potência absorvida ao longo de toda exposição, devido a queda de temperatura, brisa e sombreamento ocasionado por nuvens.

Figura 56 – Representa a curva de irradiância solar apresentada pela amostra NaCl-NaCl



Para o cálculo da eficiência energética (EE%), apresentada por essa, e demais amostras a seguir, utilizou-se das Equações 28 e 29, que resultou respectivamente em uma potência absorvida média de $0,0095 \text{ W.h/m}^2$, e uma eficiência média de aproximadamente de 1,94%.

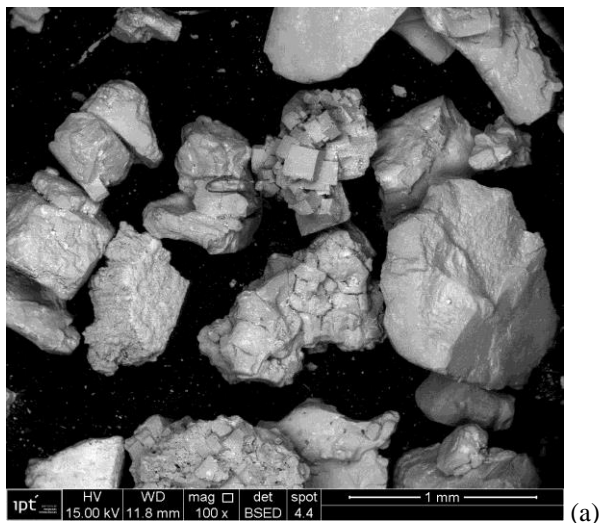
4.4. Testes com célula solar NaCl – ZnO

Designada de NaCl-ZnO, por ter sido aplicado em seus lados opostos o cloreto de sódio (NaCl) e óxido de zinco (ZnO) afim de se apresentar (d.d.p) diferença de potencial em suas extremidades, e também, verificar através de observações e medidas elétricas, possíveis alterações. As características físicas desta amostra apresentou respectivamente em área e massa são, $571,12 \mu\text{m}^2$ e 7,00g.

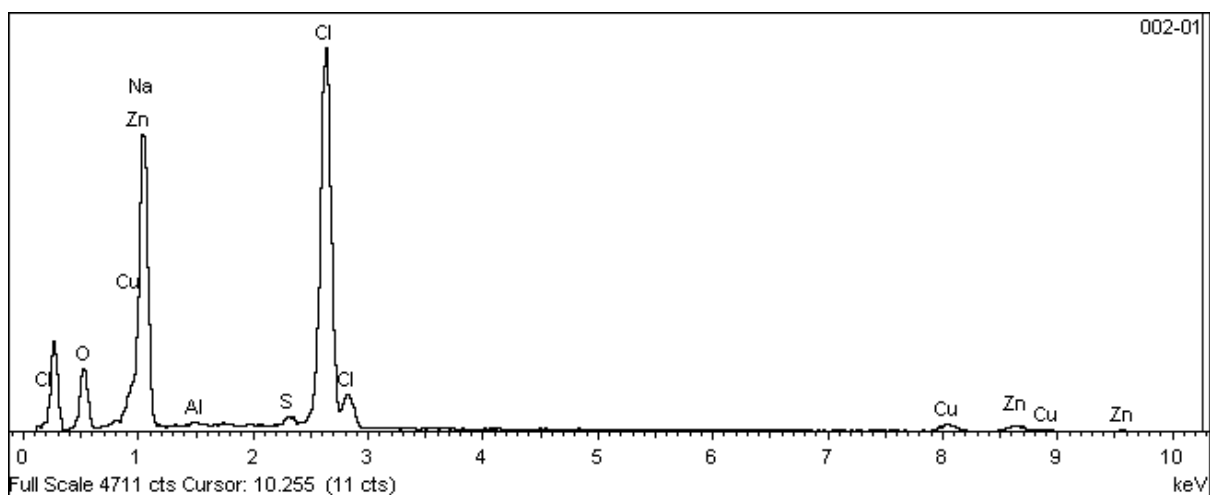
A Figura 57(a) ilustra imagem obtida através de detector de elétrons retroespalhados (BSED) utilizando-se a amostra de célula NaCl-ZnO.

Foram realizadas duas leituras de mesma amostras em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), que resultou em 2 gráficos por leitura, respectivamente representados na Figura 57(b1), (b2), (c1) e (c2). As Figuras 57(b1) e (c1) ilustram gráficos com picos dos elementos presentes na célula desenvolvida. Agora, as Figuras 57(b2) e (c2), ilustram gráficos contendo as porcentagens de cada elemento em peso (massa).

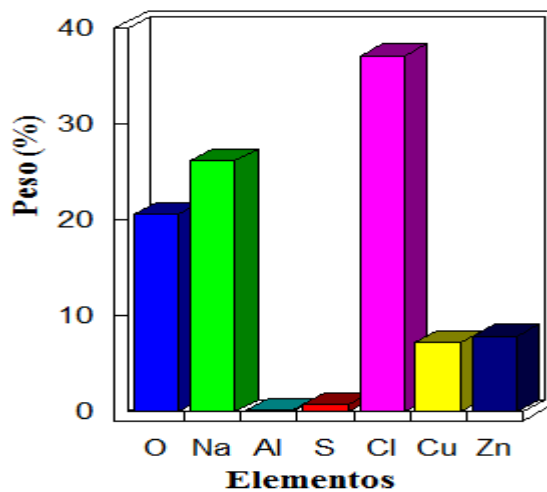
Figura 57 – (a) Ilustra imagem obtida através de detector de elétrons retroespalhados (BSED) a partir de uma amostra da célula NaCl-ZnO desenvolvida. (b1) e (c1) ilustram picos dos elementos presentes na amostra analisada. (b2) e (c2), ilustram gráficos contendo as porcentagens de cada elemento em peso (massa).



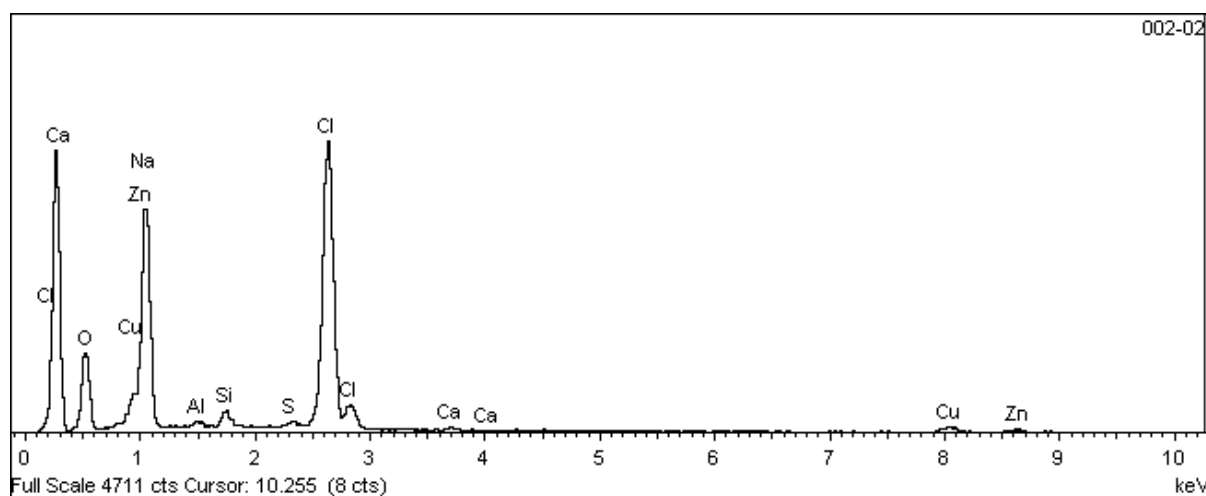
(a)



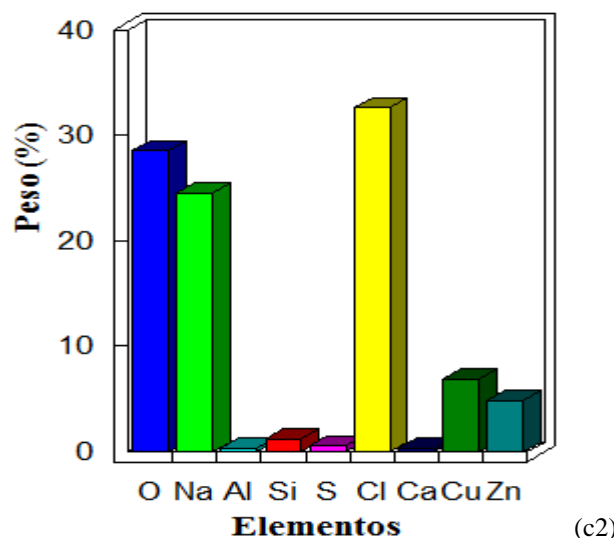
(b1)



(b2)



(c1)

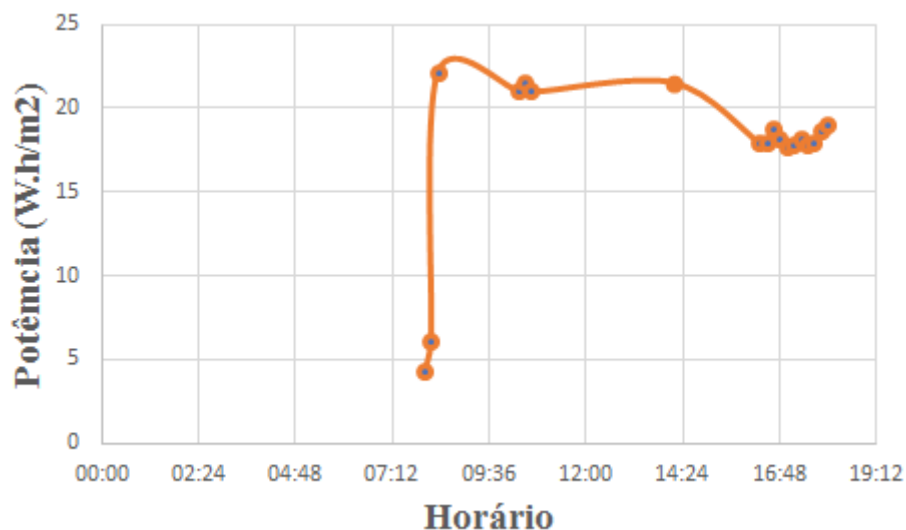


(c2)

A Figura 58, demonstra potência absorvida por hora, desenvolvida pela amostra durante o período exposto à radiação Solar através dos picos. Note que este gráfico foi representado através de coleta de 6 medidas por hora, seguindo-se de 10 em 10 minutos por um período das 8h as 18h.

Observou-se que a potência absorvida inicial de 4mW.h/m^2 às 8h, aumentou mais do que 5 vezes, passando-se para 22mW.h/m^2 às 8:20h, permanecendo com uma média de $19,83\text{mW.h/m}^2$ até as 18h. Observou-se ainda, eventuais diminuições da potência absorvida ao longo de toda exposição, devido a queda de temperatura, brisa e sombreamento ocasionado por nuvens.

Figura 58 – Representa a curva de radiância solar apresentada pela amostra NaCl-ZnO



Para o cálculo de EE% apresentada nesta amostra, utilizou-se também das Equações 28 e 29, que resultou respectivamente em uma potência absorvida média de $0,0166 \text{ W.h/m}^2$, e uma eficiência média de aproximadamente de 3,37%.

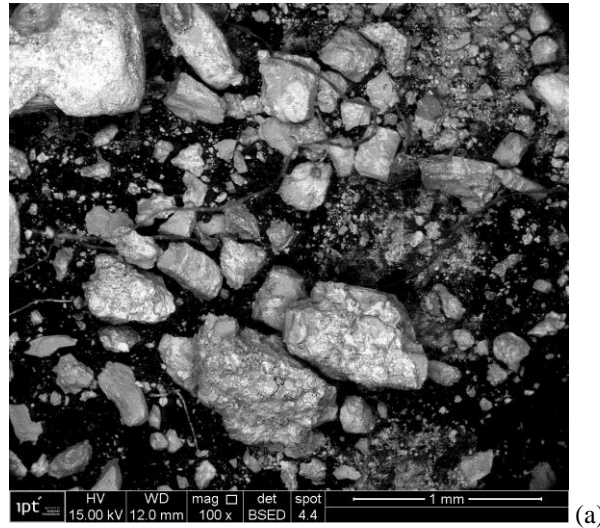
4.5. Testes com célula solar NaCl – CuSO₄

Classificou-se essa amostra como NaCl-CuSO₄, por ter sido aplicado em seus lados opostos o cloreto de sódio (NaCl) e sulfato de cobre (CuSO₄) afim de se apresentar (d.d.p) diferença de potencial em suas extremidades, e também, verificar observações e possíveis alterações nas medidas elétricas apresentadas. As características físicas desta amostra apresentou respectivamente em área e massa são, $324,00 \mu\text{m}^2$ e 3,00g.

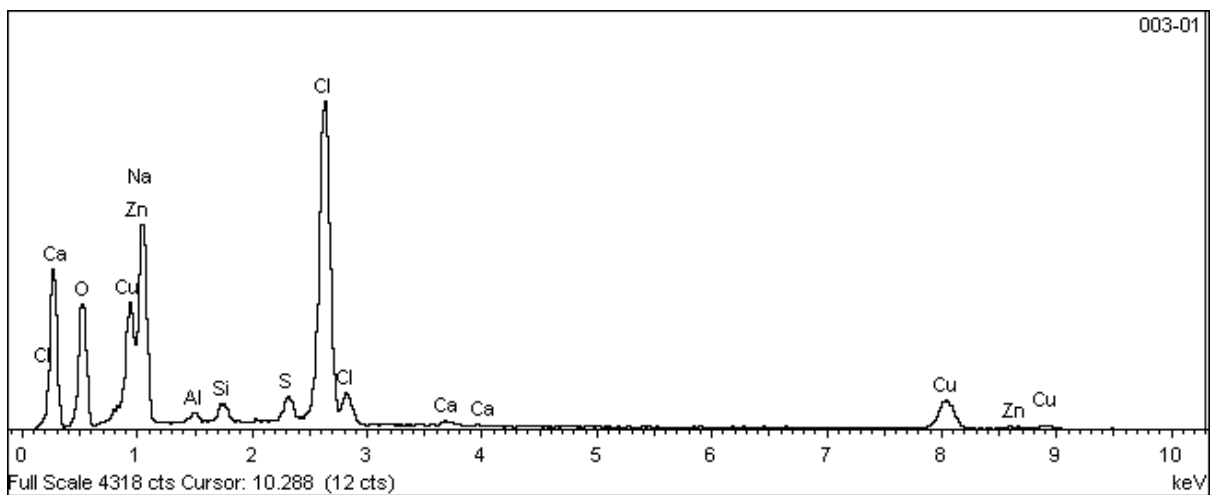
A Figura 59(a) ilustra imagem obtida através de detector de elétrons retroespalhados (BSED) utilizando-se a amostra de célula NaCl-CuSO₄.

Foram realizadas duas leituras de mesma amostra em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), que resultou em 2 gráficos por leitura, respectivamente representados na Figura 59(b1), (b2), (c1) e (c2). As Figuras 59(b1) e (c1) ilustram gráficos com picos dos elementos presentes na célula desenvolvida. Agora, as Figuras 59(b2) e (c2), ilustram gráficos contendo as porcentagens de cada elemento em peso (massa).

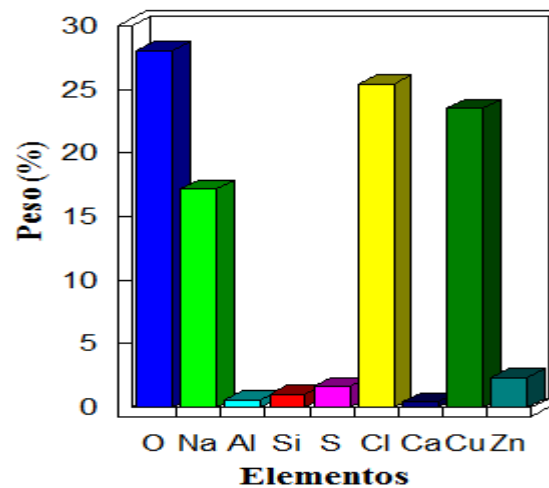
Figura 59 – (a) Ilustra imagem obtida através de detector de elétrons retroespalhados (BSED) a partir de uma amostra da célula NaCl-CuSO₄ desenvolvida. (b1) e (c1) ilustram picos dos elementos presentes na amostra analisada. (b2) e (c2), ilustram gráficos contendo as porcentagens de cada elemento em peso (massa).



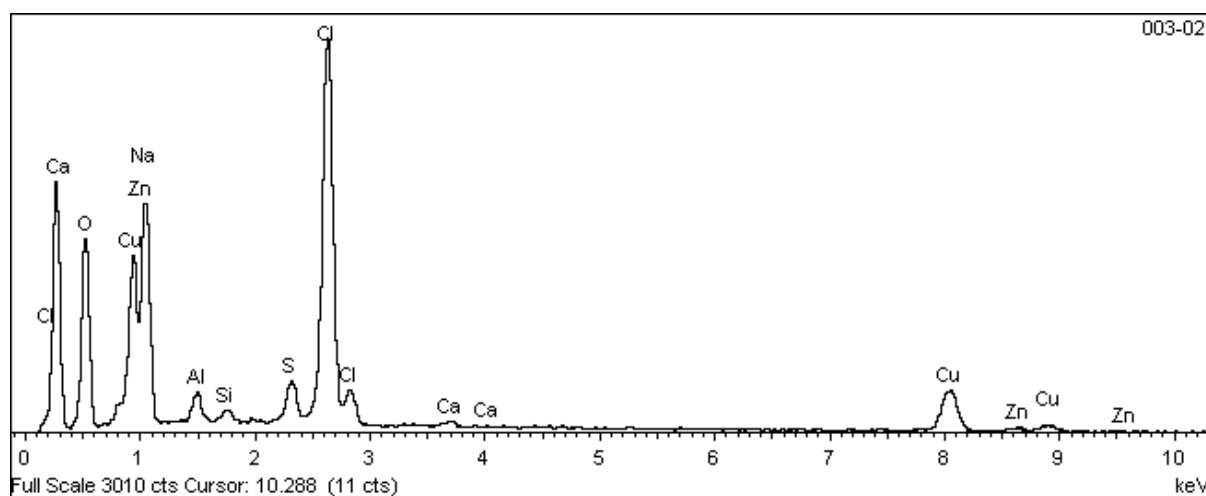
(a)



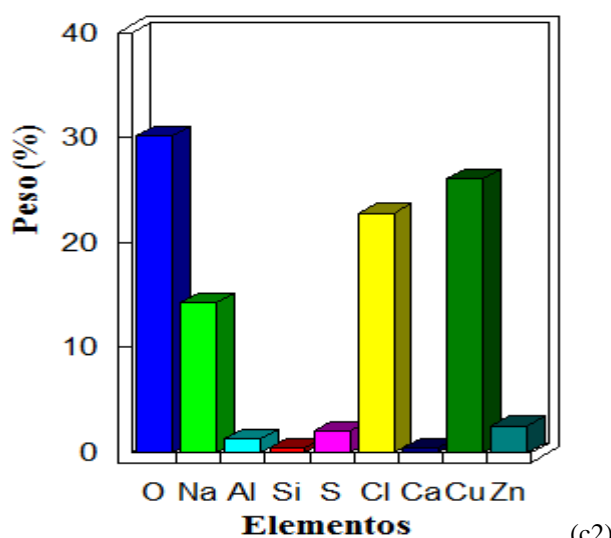
(b1)



(b2)



(c1)



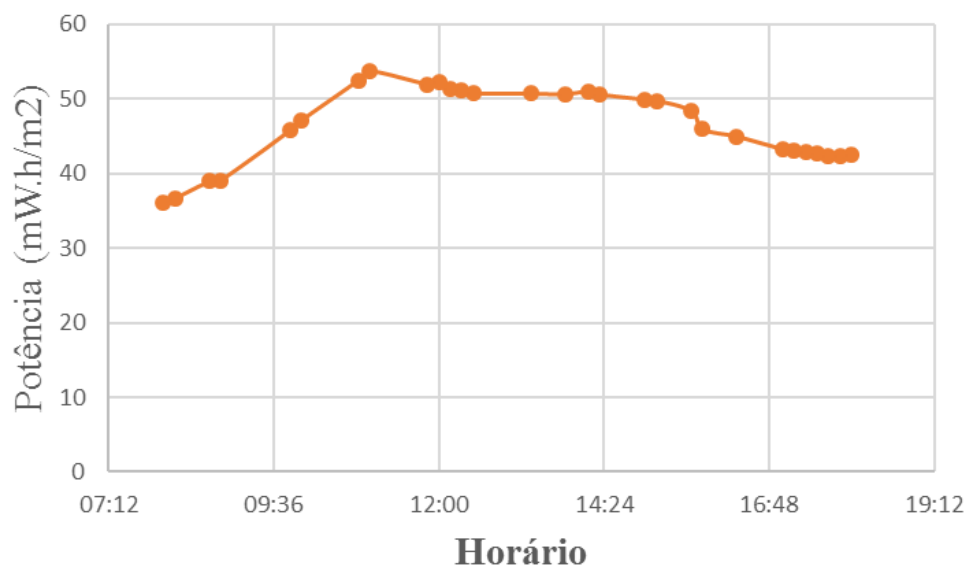
(c2)

A Figura 60, demonstra potência absorvida por hora, desenvolvida pela amostra durante o período exposto à radiação solar. Note que este gráfico foi representado através de coleta de 6 medidas por hora, seguindo-se de 10 em 10 minutos por um período das 8h às 18h.

A potência absorvida inicial foi de 36mW.h/m^2 às 8h, passando para 53mW.h/m^2 às 11h, representando um aumento de 47%. Desse período até as 15:50h a potência absorvida manteve-se com uma média de 47mW.h/m^2 . Agora, das 16:20h até as 18h, a potência absorvida foi superior à 40mW.h/m^2 .

Observou-se também eventuais diminuições da potência absorvida, devido a queda de temperatura, brisa e sombreamento ocasionado por nuvens.

Figura 60 – Representa a curva de radiância solar apresentada pela amostra NaCl-CuSO₄.



Para o cálculo de EE% apresentada por essa amostra, utilizou-se também das Equações 28 e 29, que resultaram respectivamente em uma potência absorvida média de 0,0454W.h /m², e uma eficiência média de aproximadamente de 9,18%.

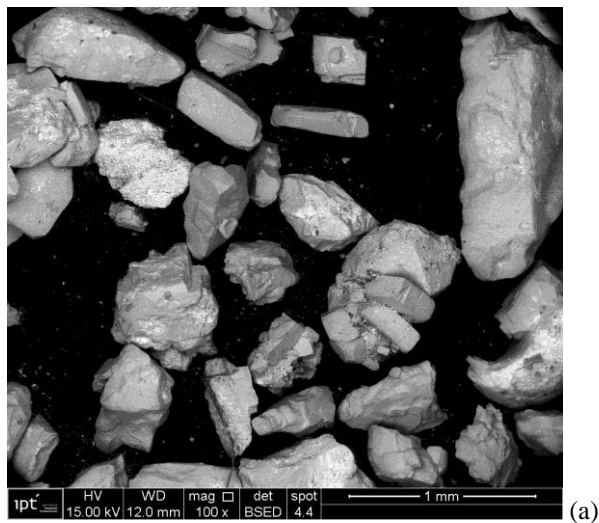
4.6. Testes com célula solar NaCl – CuO

Nomeou-se essa amostra como NaCl-CuO, por ter sido aplicado em seus lados opostos o cloreto de sódio (NaCl) e óxido de cobre (CuO) afim de se apresentar (d.d.p) diferença de potencial em suas extremidades, e verificar observações com possíveis alterações nas medidas elétricas apresentadas. As características físicas desta amostra respectivamente em área e massa são, 1242,56 μm² e 13,00g.

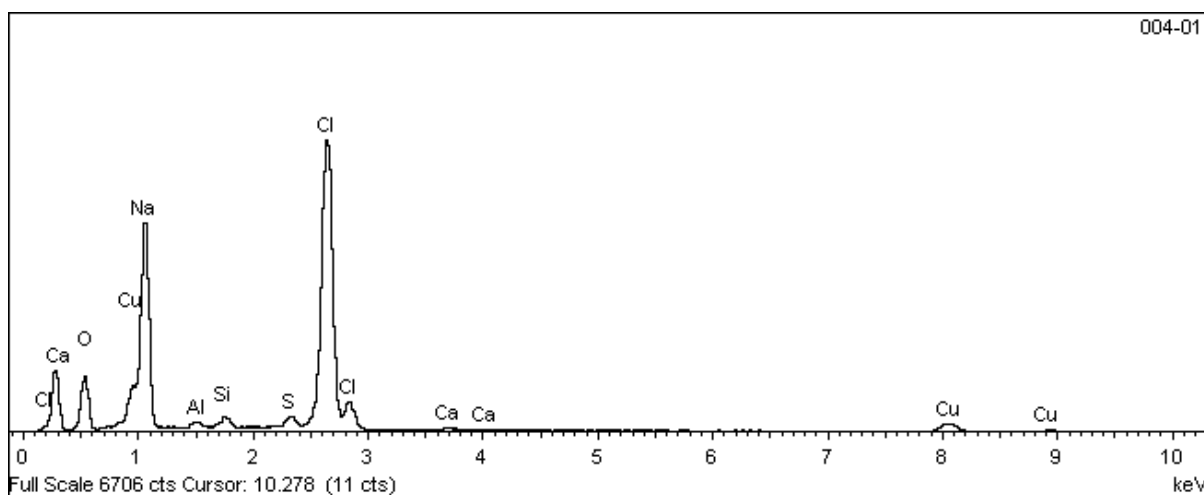
A Figura 61(a) ilustra imagem obtida através de detector de elétrons retroespalhados (BSED) utilizando-se a amostra de célula NaCl-CuO.

Foram realizadas duas leituras de mesma amostra em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), que resultou em 2 gráficos por leitura, respectivamente representados na Figura 61(b1), (b2), (c1) e (c2). As Figuras 61(b1) e (c1) ilustram gráficos com picos dos elementos presentes na célula desenvolvida. Agora, as Figuras 61(b2) e (c2), ilustram gráficos contendo as porcentagens de cada elemento em peso (massa).

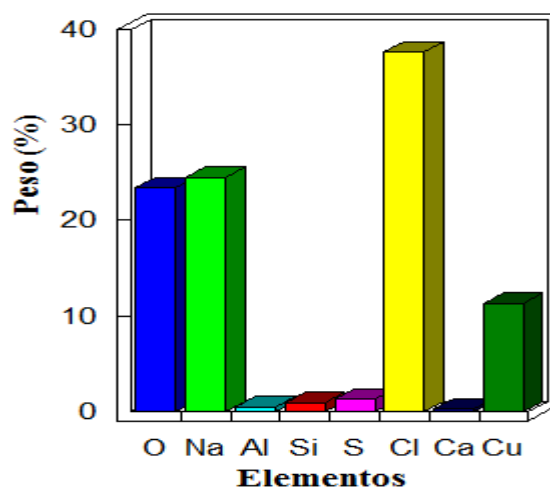
Figura 61 – (a) Ilustra imagem obtida através de detector de elétrons retroespalhados (BSED) a partir de uma amostra da célula NaCl-CuO desenvolvida. (b1) e (c1) ilustram picos dos elementos presentes na amostra analisada. (b2) e (c2), ilustram gráficos contendo as porcentagens de cada elemento em peso (massa).



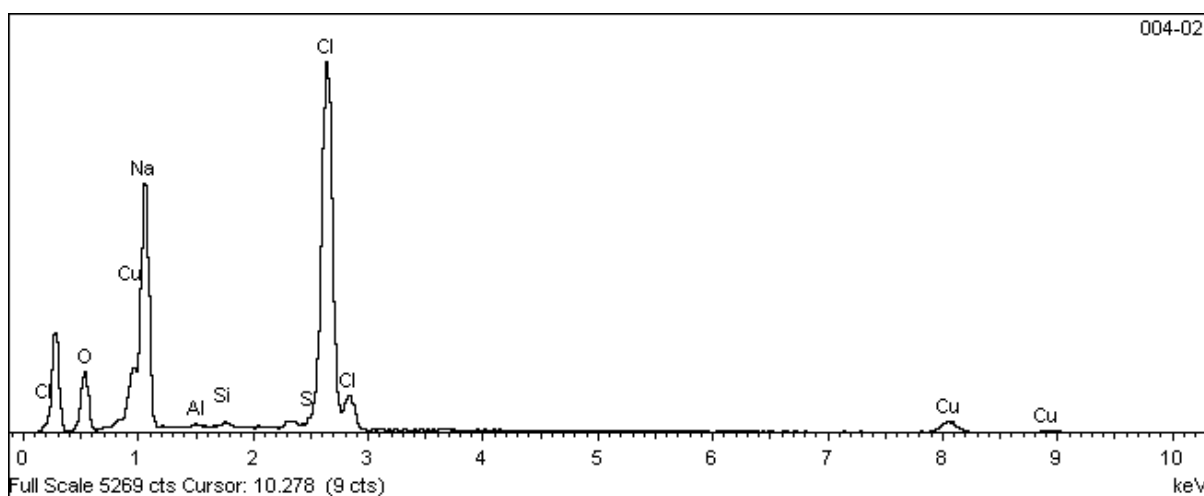
(a)



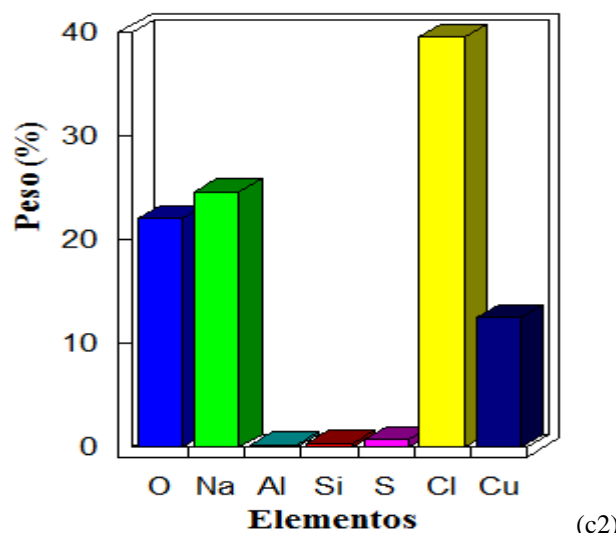
(b1)



(b2)



(c1)



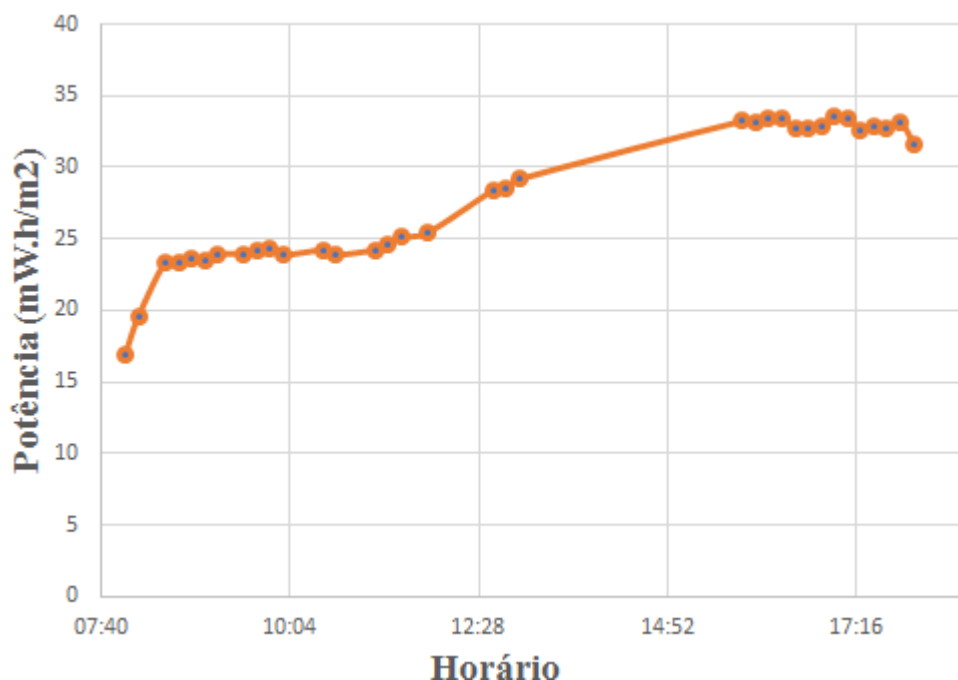
(c2)

A Figura 62 demonstra potência absorvida por hora, desenvolvida pela amostra durante o período exposto à radiação solar através dos picos. Note que, este gráfico foi representado através de coleta de 6 medidas por hora, seguindo-se de 10 em 10 minutos por um período das 8h as 18h.

A potência absorvida às 8h foi de $16,88\text{mW.h/m}^2$, exatamente às 10h apresentou uma potência de $23,87\text{mW.h/m}^2$, as 13h $29,20\text{mW.h/m}^2$. Agora, das 15:50h até às 18h apresentou uma potência superior à 30mW.h/m^2 .

Durante toda exposição à radiação solar a célula desenvolveu uma potência absorvida média pouco superior à 27mW.h/m^2 . Observou-se também, eventuais diminuições da potência absorvida, devido a queda de temperatura, brisa e sombreamento ocasionado por nuvens.

Figura 62– Representa a curva de radiância solar apresentada pela amostra NaCl-CuO.



Para o cálculo de EE% apresentada por essa amostra, utilizou-se das Equações 28 e 29, que resultaram respectivamente em uma potência absorvida média de $0,0271 \text{ W.h/m}^2$, e uma eficiência média de aproximadamente de 5,49%.

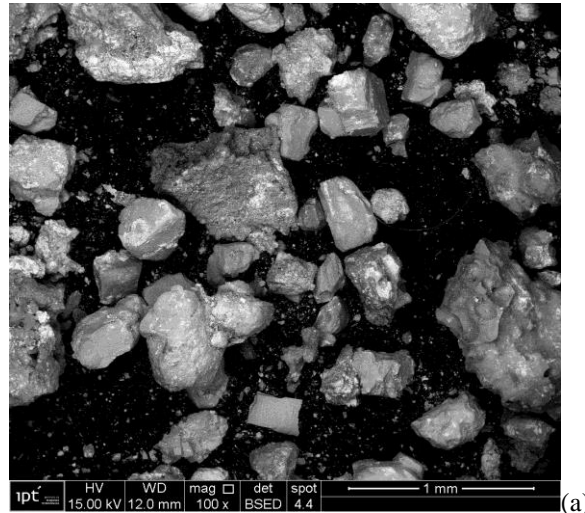
4.7. Testes com célula solar NaCl – MnO

A amostra NaCl-MnO, recebe esse nome por ter sido aplicado em seus lados opostos o cloreto de sódio (NaCl) e óxido de manganês (MnO) afim de se apresentar (d.d.p) diferença de potencial em suas extremidades, e verificar observações e possíveis alterações físicas e elétricas apresentadas. As características físicas desta amostra apresentou respectivamente em área e massa são, $324,00 \mu\text{m}^2$ e 5,00g.

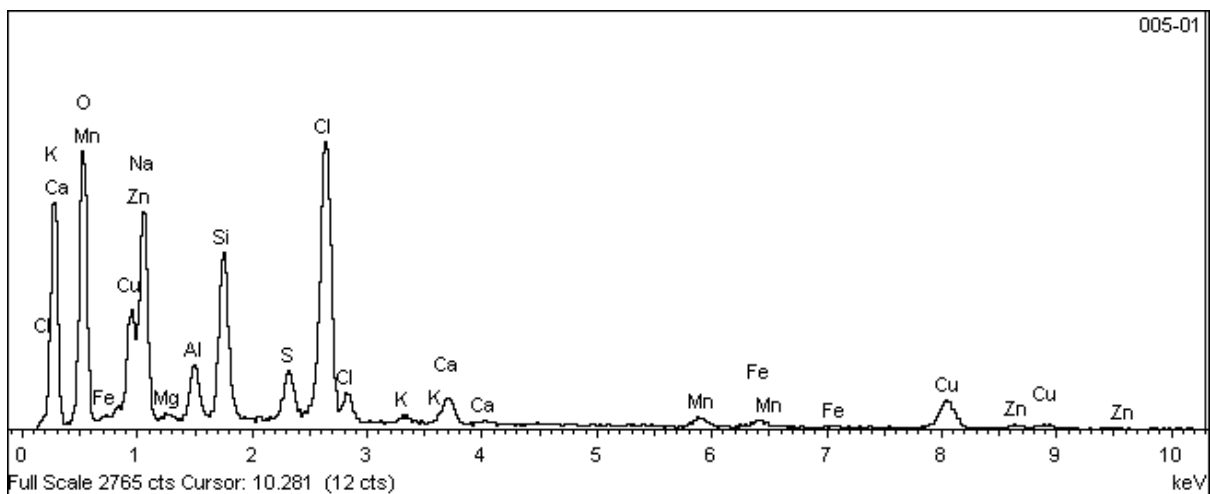
A Figura 63(a) ilustra imagem obtida através de detector de elétrons retroespalhados (BSED) utilizando-se a amostra de célula NaCl-MnO.

Foram realizadas duas leituras de mesma amostra em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), que resultou em 2 gráficos por leitura, respectivamente representados na Figura 63(b1), (b2), (c1) e (c2). As Figuras 63(b1) e (c1) ilustram gráficos com picos dos elementos presentes na célula desenvolvida. Agora, as Figuras 63(b2) e (c2), ilustram gráficos contendo as porcentagens de cada elemento em peso (massa).

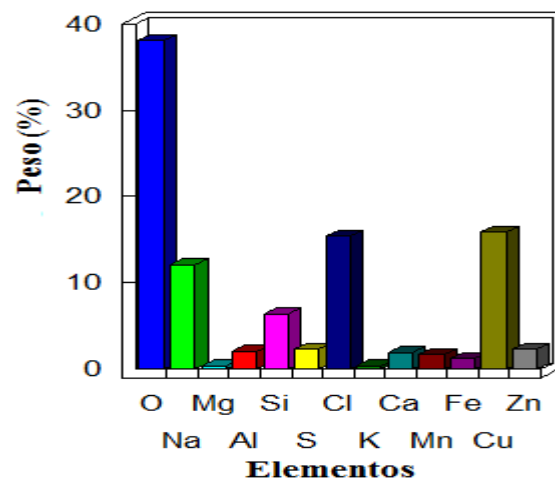
Figura 63 – (a) Ilustra imagem obtida através de detector de elétrons retroespalhados (BSED) a partir de uma amostra da célula NaCl-MnO desenvolvida. (b1) e (c1) ilustram picos dos elementos presentes na amostra analisada. (b2) e (c2), ilustram gráficos contendo as porcentagens de cada elemento em peso (massa).



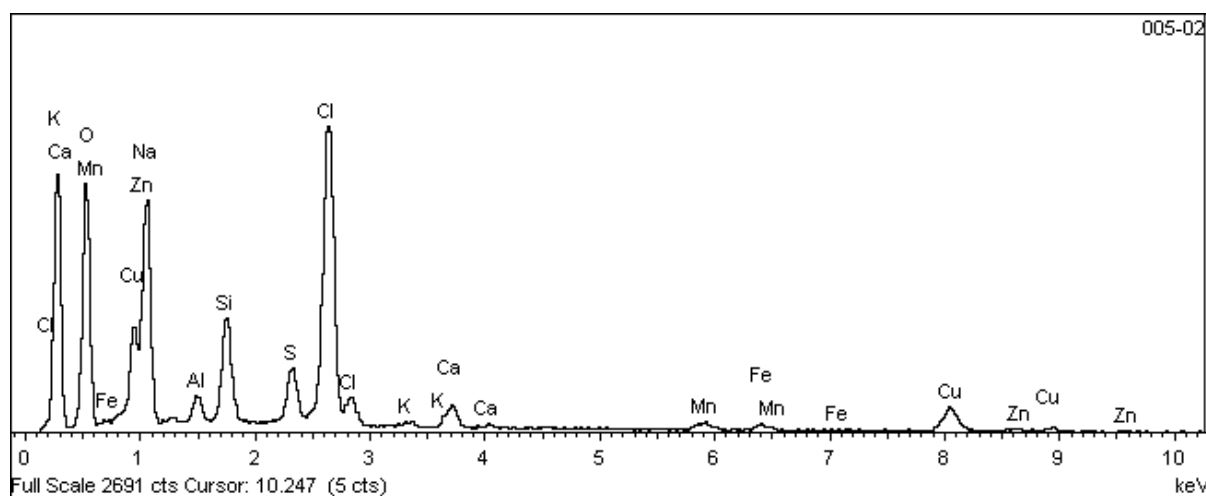
(a)



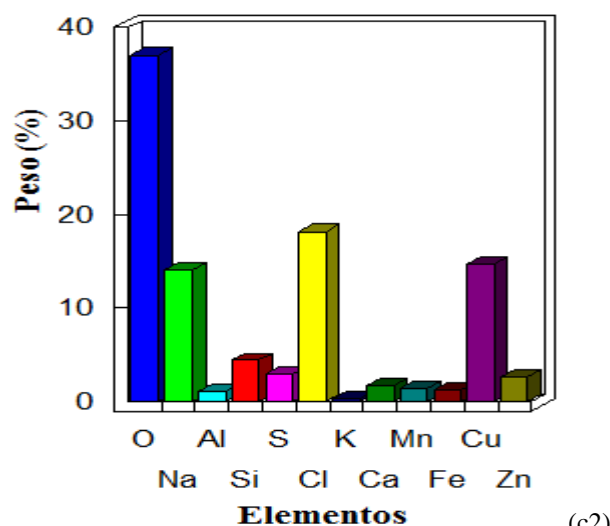
(b1)



(b2)



(c1)



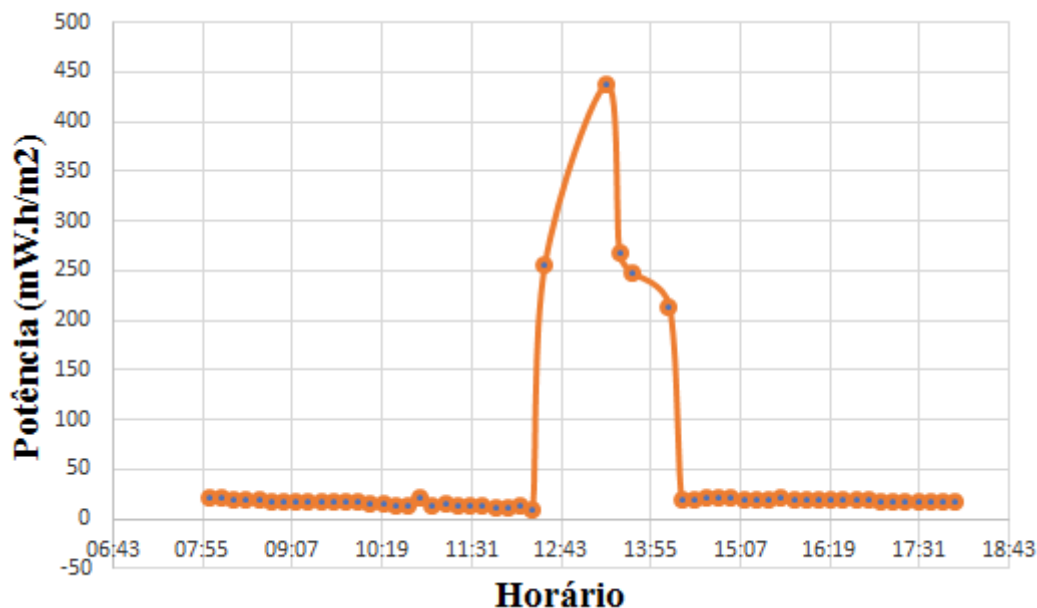
(c2)

A Figura 64 demonstra potência absorvida por hora, desenvolvida pela amostra durante o período exposto à radiação solar através dos picos. Note que este gráfico foi representado através de coleta de 6 medidas por hora, seguindo-se de 10 em 10 minutos por um período das 8h as 18h.

Observou-se que das 8h até 12:20h a potência absorvida média foi de aproximadamente 16mW.h/m^2 . Às 12:30h a potência absorvida pela célula foi de $256,40\text{mW.h/m}^2$, e às 13:20h a potência absorvida chegou a apresentar um valor 70% maior.

Analisando-se das 14:20h até as 18h, a potência absorvida média foi de 19mW.h/m^2 . Observou-se também, características eventuais de diminuições da potência absorvida, devido a queda de temperatura, brisa e sombreamento ocasionado por nuvens.

Figura 64 – Representa a curva de radiância solar apresentada pela amostra NaCl-MnO.



A EE% apresentada por essa amostra, utilizou-se também das Equações 28 e 29, que resultaram respectivamente em uma potência absorvida média de $0,0436 \text{ W.h/m}^2$, e eficiência média de aproximadamente de 8,84%.

Para melhor análise e constatação entre as diferentes células solares desenvolvidas, optou-se em diferenciá-las entre a potência absorvida e eficiência, conforme Tabela 3.

Constatou-se que as células nomeadas NaCl-CuSO₄ e NaCl-MnO, apresentaram as melhores eficiência e potência absorvida, seguidas respectivamente pelas células NaCl – CuO, NaCl – ZnO e NaCl – NaCl.

Tabela 3 – Comparativo apresentado pelas amostras de célula solar desenvolvidas referente a potência absorvida e eficiência.

Amostra Célula Solar	Potência Absorvida [W.h/m ²]	Eficiência (%)
NaCl - NaCl	0,0095	1,94
NaCl - ZnO	0,0166	3,37
NaCl – CuSO₄	0,0454	9,18
NaCl - CuO	0,0271	5,49
NaCl - MnO	0,0436	8,84

Foi realizada uma análise de custos para verificar a viabilidade econômica e ambiental do processo de produção de cada célula FV, baseada na teoria da contabilidade de custos ecológicos.

Os aterros industriais, criados e projetados especialmente para o descarte de resíduos sólidos industriais, são mais procurados pelas empresas com o objetivo de eliminar resíduos e multas. No entanto, métodos alternativos de descarte têm sido empregados e têm produzido resultados interessantes do ponto de vista da preservação econômica e ambiental. A reciclagem, um *slogan* em sistemas modernos de gestão, surgiu como uma opção importante devido à sua grande flexibilidade operacional e possibilidade de aplicação em sistemas de baixo custo (Miranda et al., 2018).

As vantagens de reutilizar resíduos de construção civil RCC para produzir uma célula FV podem ser resumidas da seguinte forma:

- a-) Redução potencial da disposição de resíduos em aterros sanitários até o limite de aproximadamente 100 milhões de toneladas por ano, devido à reciclagem dos resíduos para produzir o sensor proposto neste trabalho, segundo Passarini et al. (2014);
- b-) Redução da contaminação do solo, uma vez que o RCC é rico em metais pesados (Passarini et al., 2014);
- c-) Redução de custos industriais à medida que os resíduos são incorporados ao ciclo de produção;
- d-) Redução na quantidade de resíduos direcionados a aterros sanitários e industriais e, conseqüentemente, uma redução correspondente nos custos de transporte de resíduos (Passarini et al., 2014);
- e-) Economia de energia e recursos naturais; e
- f-) Melhoria da imagem da empresa no mercado consumidor (Giraçol et al., 2011; Silva Filho et al., 2018).

Além disso, o valor é adicionado aos resíduos que seriam descartados em aterros sanitários ou em locais não autorizados, como terrenos baldios, margens de estradas e nas proximidades de corpos d'água, como córregos e lagos.

4.8. Análise de custos do material desenvolvido

Os custos do material final (célula padrão 10x10x1 cm) desenvolvido foram calculados, seguindo-se a Tabela 4.

Calculou-se os custos de cada placa através da incorporação (suporte) em comum para cada uma das 5 células desenvolvidas, bastando-se com isso adicionar-se, o custo unitário de

cada célula em questão. Sendo assim, a célula (NaCl -NaCl) resultou em um custo da placa no valor de R\$ 0,0107.

Para as demais células, o custo de placa final apresentado foi respectivamente de NaCl-ZnO (R\$ 0,08283), NaCl-CuSO₄ (R\$ 0,05983), NaCl-CuO (R\$0,19283) e NaCl-MnO (R\$0,04283).

Nota-se, que ao analisar as células NaCl-MnO e NaCl-CuSO₄, ambas apresentaram características de potência, eficiência e custo da placa semelhantes, porém com ligeira diferença, tornando-se com isso, excelentes para aplicações no desenvolvimento de células solares sustentáveis.

Desta forma, nota-se que a célula mais viável é a de NaCl-CuSO₄, que além de ter a maior potência absorvida e eficiência apresentada na Tabela 3, possui o menor custo de produção. Como as células fotovoltaicas (FV) comercializadas no Brasil custam de R\$ 15,00 a R\$ 400,00 Aliexpress (2019), o que equivale de 75 a 2000 vezes mais caras do que as produzidas neste trabalho.

Tabela 4 - Composição e custo com matéria prima para a obtenção das células com medida padrão 10x10 cm.

Material	Preço (R\$/kg)	Massa (kg)	Custo unitário (R\$)	Custo da placa (R\$)	
Suporte	RCC alvenaria*	0,025	0,05	0,00125	
	RCC cerâmica*	0,025	0,05	0,00125	
	Água**	0,1066	0,05	0,00533	
Células	NaCl-NaCl	1,45	0,002	0,0029	0,01073
	NaCl-ZnO	75,00	0,001	0,075	0,08283
	NaCl-CuSO₄	26,00	0,002	0,052	0,05983
	NaCl-CuO	185,00	0,001	0,185	0,19283
	NaCl-MnO	35,00	0,001	0,035	0,04283

*Preço da massa do RCC alvenaria e cerâmica **Como a SABESP trabalha com faixa de consumo, estimou-se que a empresa estaria na faixa entre 11-20 m³/mês Fontes: *Cardoso et al. (2014); **Sabesp (2018)

4.9 Análise de viabilidade da produção do material absorvivo.

4.9.1 Proposta de Processo Produtivo

Supondo-se uma planta industrial de uma fábrica de produção de matéria-prima para produtos absorvivos e funcionando 24h, é representada através da Figura 65, com capacidade de 16800 kg/mês, o que corresponderá à produção de 168000 placas com medidas 10x10x1

cm. O custo com matéria-prima usando a melhor condição apresentada pela célula NaCl-CuSO₄, será de 9156 R\$/mês.

Para tanto, fez-se uma suposição inicial de produção e, a partir desta, dimensionou-se os volumes e demais capacidades dos equipamentos necessários para o funcionamento do processo produtivo.

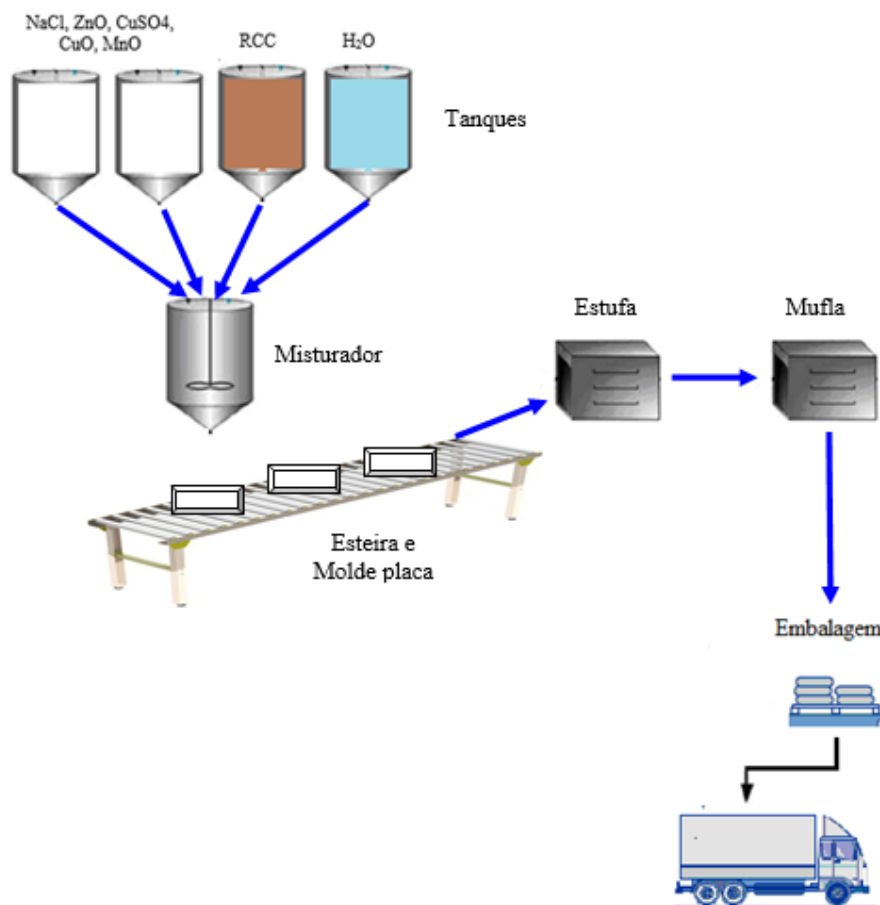
Verificou-se primeiramente que as matérias-primas (RCC alvenaria, RCC cerâmica e H₂O) são postas em um tanque de mistura, onde passarão cerca de 2 h para lixiviação. A relação mássica e o tempo foram baseados nos dados experimentais.

Na sequência, utiliza-se os tanques com dosadores que serão alimentados com materiais que serão utilizados para indução de cada tipo de célula produzida (NaCl, ZnO, CuSO₄, CuO e MnO). Finalizado o tempo de lixiviação, e definido o tipo de célula a ser produzida, o material escolhido para indução será dosado dentro do misturador junto com os rejeitos de RCC.

Após misturados os materiais, resultou-se em uma matéria-prima que é dosada dentro de um molde (10x10x1cm) posicionado em uma esteira que levará o produto para uma estufa no qual deverá permanecer à 100°C até evaporação da água. Finalizado esse processo, o produto será levado para uma mufla durante 2h para calcinação.

Finalizado o tempo na mufla, o produto deverá ficar em processo de resfriamento, para que em seguida possa ser embalado e distribuído conforme ilustrado abaixo.

Figura 65 - Fluxograma de produção de matéria-prima para produtos absorvíveis em uma pequena empresa.



4.9.2 Custos para a produção

Para o cálculo de custos total com material para a produção de matéria-prima na elaboração de célula absorvível NaCl-CuSO₄, estimou-se utilizar 16800 kg/mês, que ao se dividir pela massa de cada célula serão produzidas 168000 células com medidas (10x10x1 cm) por mês..

Partindo-se da Tabela 5, o consumo de RCC (alvenaria e cerâmica) representa 98,04% de material utilizado e, com isso, não interfere no custo com a aquisição de material e utilidade. O material mais caro incorporado em pequena quantidade na composição final do produto representa 1,96% de todo material utilizado, fazendo com isso, reduzir o preço do produto final.

Tabela 5 – Consumo e custo com material para produção de uma célula.

Itens	Preço (R\$/kg)		Massa (kg)	Custo (R\$)
RCC alvenaria*	0,025		0,05	0,00125
RCC cerâmica*	0,025		0,05	0,00125
Água**	0,1066		0,05	0,00533
NaCl-CuSO ₄	26,00		0,002	0,052
Célula produzida			0,102	0,05983
Total de célula (unidades /mês)	168000			
Custo Total com Material (R\$/mês)				10051,44

A Tabela 6 apresenta um resumo dos custos fixos, que correspondem à montagem da estrutura física da empresa, contando com todos os equipamentos e materiais que venham a fazer parte de escritórios, limpeza, segurança e chão-de-fábrica. Esse valor deve ser empregado antes do *start up* da empresa, já que sem essa estrutura não é possível produzir a matéria-prima absorviva. Observa-se que o custo unitário com a aquisição do secador com esteira é o mais alto dentre os demais, representando mais do que 40%.

Tabela 6 – Relação dos Custos Fixos.

Descrição	Custo Unitário (R\$)	Quantidade	Vida útil (ano)	Depreciação / Manutenção (%)	Custo Mensal (R\$)
Barracão / Aluguel (1200m ²)	25000,00	1	-	4	26000,00
Secador c/ esteira (10 m ³)	80000,00	1	10	4	693,33
Forno (200 kg)	15000,00	1	10	4	130,00
Tanque de Mistura (1,0 m ³)	29000,00	1	10	4	251,33
Tanque de armazenamento (10 m ³)	7600,00	3	10	4	197,60
Balança Eletrônica (1 ton)	1350,00	3	10	4	35,10
Dosador (250 l)	18900,00	1	10	4	163,80
Equipamentos p/ Escritório	8000,00	1	5	4	69,33
Materiais de Consumo	7000,00	1	1	-	7000,00
Total de Custos Fixos	191850,00				34540,50

Considerando-se a estrutura acima e assumindo-se que um técnico pode operar até três equipamentos, já que seus ciclos são relativamente altos e o transporte dos produtos será feito por esteiras e alimentadores automáticos (acoplados aos equipamentos), então chegou-se ao quadro de funcionários apresentado na Tabela 7, com seus respectivos salários (assumindo

a realidade salarial de São Paulo) e encargos financeiros. Como se percebe, os encargos representam cerca de 50% dos custos com salários para a empresa.

Tabela 7 – Custos com pagamento de salários e encargos trabalhistas.

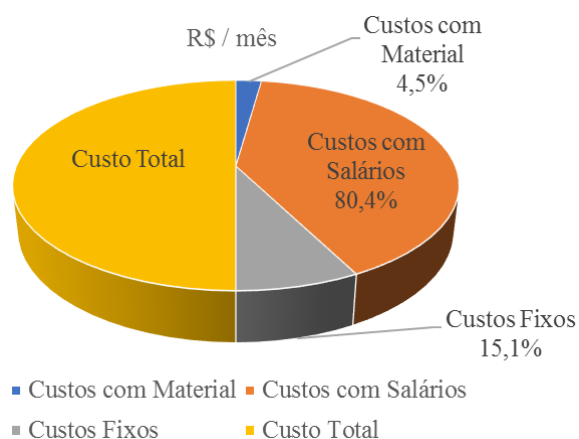
Funcionários	Quantidade	Salário (R\$)	Turnos	R\$/mês
Gerente	1	10479,00	1	10479,00
Engenheiro	3	8483,00	3	25449,00
Técnicos	12	2495,00	3	29940,00
Secretária / Marketing	3	1996,00	3	5988,00
Auxiliar Serviços Gerais	6	1497,00	3	8982,00
Auxiliar Técnico	6	1497,00	3	8982,00
Contador	0,833	3992,00	1	3325,30
Total de Salários (R\$/mês)				93145,00
Total de Encargos Trabalhistas (96,75%)				90118,00
Custos Total com Funcionários				183263,00

A Tabela 8 apresenta um resumo dos custos totais da empresa. Como se nota, os custos com material são 17 vezes menor que os custos pagos com salários, que representam o principal item da composição dos custos da empresa com valor superior à 80% conforme pode se notar através da Figura 66.

Tabela 8 – Resumo mensais da empresa.

Itens	Valor mensal (R\$/mês)	Custo percentual (%)
Custos com Material	10051,44	4,50
Custos com Salários	183263,00	80,40
Custos Fixos	34540,50	15,10
Custo Total	227854,94	100,00

Figura 66 – Representação dos custos salariais com os demais custos.



Assumindo-se uma produção mensal igual à soma das massas dos RCC (alvenaria e cerâmica) e CuSO_4 em toneladas consumidas no mesmo período, têm-se uma quantidade de 16800,00 kg/mês, que ao ser dividido pela massa do molde (célula) de 0,100g (RCC junto com CuSO_4), resultará na produção mensal de 168000 células absorptivas.

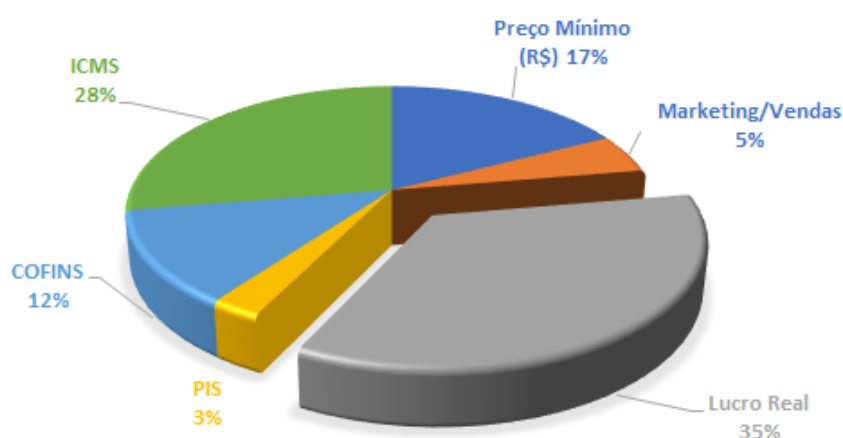
Pela divisão do total dos custos por essa produção, tem-se o preço mínimo do produto aproximadamente 1,35 R\$/kg (US\$0,34). Para se obter o preço de venda (PV), usou-se a Equação 32. Tudo isso está representado na Tabela a seguir, a qual também apresenta a composição do preço desse mesmo produto.

Tabela 9 – Composição do preço da matéria-prima para produtos absorptivos.

Itens	Valor (R\$)
Preço Mínimo (R\$)	1,35
Marketing/Vendas	0,39
Lucro Real	2,73
PIS	0,21
COFINS	0,96
ICMS	2,15
Preço de venda (R\$/kg)	7,79

Aproveitando-se a Tabela 9, elaborou-se a Figura 67, no qual observa-se que reduzindo-se a composição do preço mínimo (17%), obtém-se uma maior margem de lucro real.

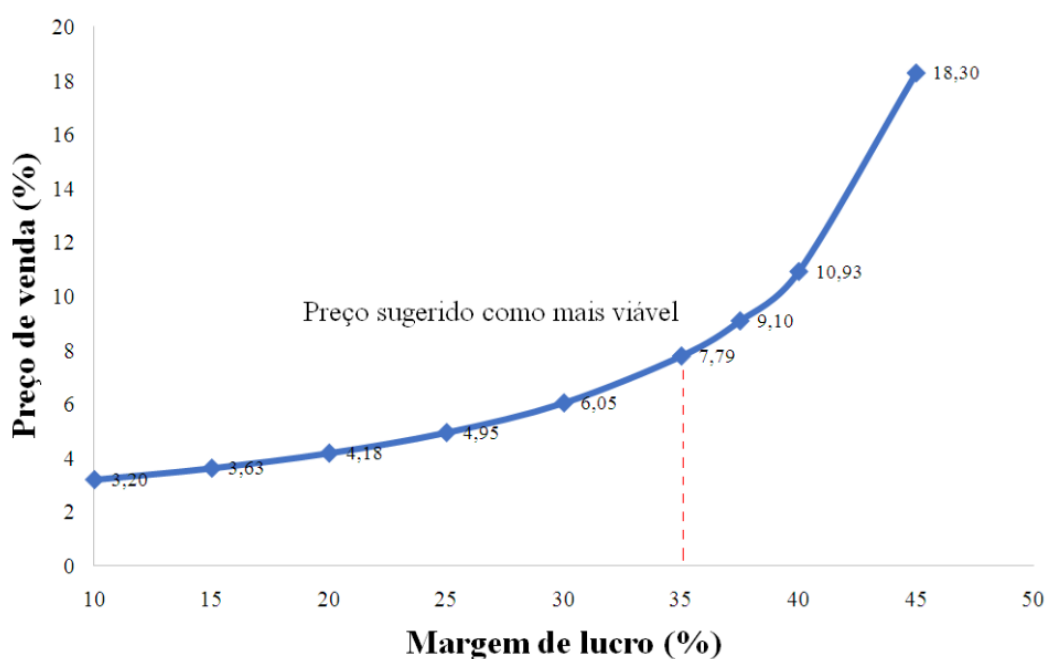
Figura 67 - Composição percentual dos impostos e lucro real do preço da matéria-prima para produtos absorptivos.



Partindo-se da Equação 32, pôde-se determinar o preço sugerido em cada ponto, relacionando-se o PV(%) com a margem de lucro obtida na Figura 68, e através disso, utilizar o valor de R\$ 7,79 como estratégia de venda, que é metade do preço mínimo de um célula FV

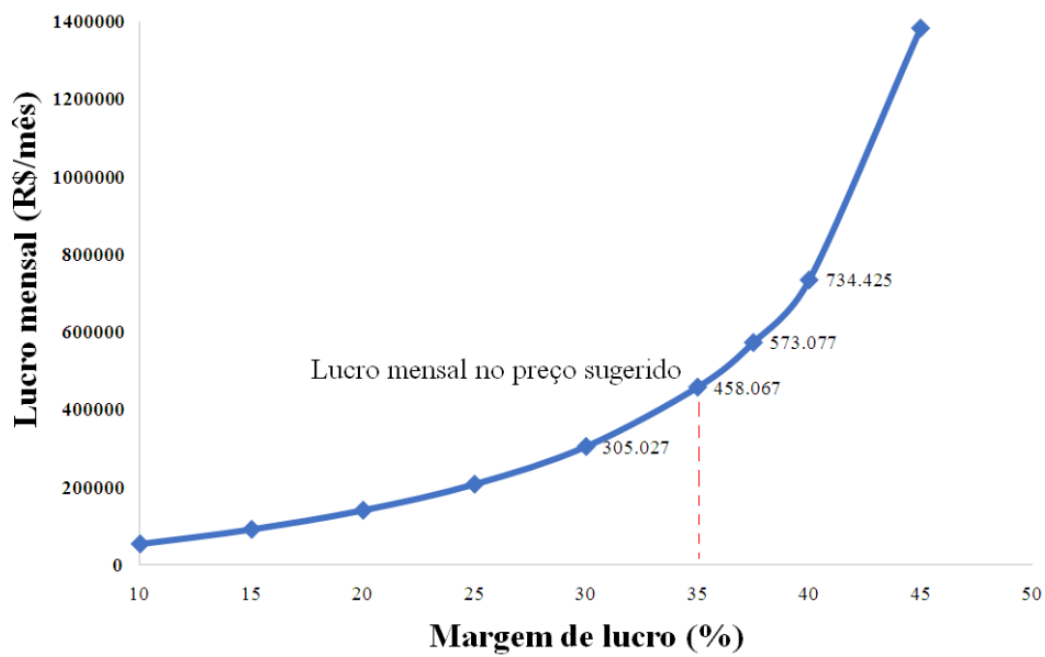
comercial e obter uma margem com um lucro de 35%. Observa-se ainda, que o preço mínimo (PM) para o material desenvolvido é R\$ 1,35 (US\$0,34) a partir da Tabela 9, e reduzindo-se os custos com materiais, obtém-se uma margem de lucro maior.

Figura 68 - Representa a relação do preço de venda versus a margem de lucro em porcentagens para identificação do preço de venda sugerido para o material absorvivo.



Através do valor sugerido de R\$ 7,79, e a quantidade de células produzidas por mês, elaborou-se a Figura 69, chegando-se a valor do lucro mensal (R\$/mês) a partir do preço sugerido no valor de R\$ 458 mil / mês equivalente à (US\$116,500), e 5.496.000,00/anual (US\$ 1.399.213).

Figura 69 –Representa a relação do lucro mensal (R\$/mês) versus o margem de lucro (%) para determinação do lucro mensal da produção do material absortivo.



CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5. CONCLUSÃO

Conclui-se através dos valores das médias de potência absorvida apresentadas dentre as amostras desenvolvidas, que as células NaCl-CuSO₄ e NaCl-MnO, apresentaram os melhores desenvolvimento absorptivos respectivamente com os valores de 0,0454 W.h/m² e 0,0436 W.h/m².

Comparou-se a eficiência energética apresentada pelas células desenvolvidas, e dentre elas, a ordem de sequência se apresenta respectivamente através da células NaCl-CuSO₄ com (9,18%), NaCl-MnO (8,84%), NaCl-CuO (5,49%), NaCl-ZnO (3,37%) e NaCl-NaCl (1,94%).

Podê-se afirmar que, através desses valores, que as células NaCl-CuSO₄ e NaCl-MnO apresentaram as melhores potência absorvida e eficiência respectivamente, sendo que a célula com óxido de magnésio (MnO), apresenta maior custo em seu processo produtivo por apresentar um valor 34% maior em (R\$/kg) em relação à célula produzida com CuSO₄.

Evidenciou-se também a possibilidade dessas duas amostras tornarem-se excelentes no desenvolvimento e/ou aplicações de células solares reutilizáveis e sustentáveis, além de serem produzidas por custos bem inferior as células padrões comerciais.

As células desenvolvidas foram classificadas de acordo com a eficiência de conversão em energia elétrica, indicado pela norma brasileira e sua fabricação quanto a sua geração. Utilizou-se a teoria de contabilidade de custos ambientais afim de demonstrar que o processo de produção é ambiental e ecologicamente viável.

Os resultados mostraram que todas as células desenvolvidas apresentam propriedades adequadas para aplicações voltadas para elaboração e/ou construção de uma célula fotovoltaica. Os rendimentos de conversão para energia elétrica apresentados pelas células desenvolvidas variaram entre 1,94 a 9,18%, sendo que as células produzidas com CuSO₄, MnO e CuO podem ser classificadas como células de segunda geração através do Inmetro, de 4 a 9%, separando-as nas classes B (bom rendimento) e C (rendimento regular), demonstrando que é possível obter uma célula fotovoltaica (FV) a partir da RCC.

Isso ocorre porque os semicondutores, como o silício, quando dopados, têm suas bandas de condução preenchidas com os elétrons do dopante. Isso aproveita a corrente elétrica que se forma na passagem de elétrons de uma camada para outra.

Com isso, partindo-se da análise de viabilidade do material absorvivo, adotou-se como estratégia o valor de R\$7,79 (US\$ 1,97) por apresentar metade do valor mínimo de uma célula FV comercializada, podendo-se atingir uma produção de 168.000 células/mês, obtendo-se respectivamente um lucro de R\$ 458.000,00/mês (US\$116,539) e 5.496.000,00/anual (US\$ 1.399.213).

Salienta-se ainda que, para produção de uma célula solar de CuSO_4 , apresenta um consumo e custo com materiais, chegando-se a um valor de R\$ 0,05983, e podendo ser comercializada a partir de um custo mínimo de R\$ 1,35 (US\$0,34). Partindo-se do preço mínimo calculado para a célula CuSO_4 , esse valor representa cerca de 11 vezes mais barato que as células fotovoltaicas comerciais, e 50% menor que as células FV comerciais a partir do preço de venda adotado como estratégia.

Conclui-se através desses fatos que, é possível obter uma célula FV economicamente e ambientalmente viável a partir de reutilização de resíduos da construção.

5.1 Sugestões para Trabalho Futuros

Como perspectiva futuras sugere-se continuar estudos científicos e experimentais utilizando-se de células desenvolvidas e, aplicá-las em modo de configuração serie e paralelo, observando-se possíveis alterações e, talvez, melhora em suas eficiências e características elétricas. Verificar possibilidades de aplicações em outras áreas, dentre as mais promissoras, nanotecnologia e a nanoeletrônica.

Pensa-se em utilizá-las também em aplicações voltadas para conforto térmico não só residencial, mas industriais.

Pretende-se utilizar outros compostos químicos, entre eles o grafeno nas 5 amostras desenvolvidas, comparando-as através do comportamento de suas características elétricas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil em 2016. São Paulo: Editora da ABRELPE, 64p, 2016.

ADAMS, W.G. e DAY, R.E. The action of light on selenium. *Proceedings of the Royal Society*, A25, v. 113, 1877.

ADAMS, K.T.; OSMANI, M.; THORPE, T.; THORNBACK, J. Circular Economy in construction: current awareness, challenges and enablers. *Water Resource Management*, VOL 170, pp.15-24, 2017.

AFFONSO, G. M.; PARIZZI, J. B.; AFFONSO, G. M.; GOETTENS, M. F.; SKORUPA, T.; NUNES, M. Eficiência de coletor termossolar tipo concentrador fixo para aquecimento de água em residências. Anais do 8º Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão – Universidade Federal do Pampa. v.8, n.1, p. 1-2, 2016.

ALIEXPRESS, Site de Produtos importados serviço de varejo on-line. <https://pt.aliexpress.com/item/1-2-W-18-V-C-lula-Solar-Painel-Solar-Ep-xi-Placa-do-Mdulo/32977717634.html?spm=a2g03.search0104.3.1.503c5e161cgxue&transAbTest=ae803_4&ws_ab_test=searchweb0_0%2Csearchweb201602_2_10065_10068_10890_10547_319_10546_10059_10884_317_10548_10887_10696_321_322_10084_453_10083_454_10103_10618_10307_537_536%2Csearchweb201603_51%2CppcSwitch_0&algo_pv_id=1f385cb8-6947-492b-bddd-ca08fce46f5b&algo_expid=1f385cb8-6947-492b-bddd-ca08fce46f5b-0>. Acessado em 01 de fevereiro de 2019.

AL-KHANBASHI, H. A.; SHIRBEENY, W.; AL-GHAMDI, A. A.; BRONSTEIN, L. M.; MAHMOUD, W. E. Development of highly conductive and transparent copper doped zinc oxide thin films via 2-methoxyethanol modified sol-gel dip-coating technique. *Ceramics International*, v.40, issue1, p. 1927-1932, 2014.

ALMEIDA, P. F. Análise da qualidade de gelatina obtida de tarsos de frango e aspectos envolvidos no processo produtivo. Dissertação (mestrado) – Universidade Nove de Julho – SP – São Paulo, p. 135, 2012.

ALMEIDA, G. S. M.; Pesquisa e Desenvolvimento de um Sistema Termoelétrico do tipo Linear Fresnel Reflector. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa – FCT, Lisboa – Portugal, p. 83, 2013.

AMÉRICA DO SOL, Programa do instituto ideal de disseminação da energia solar fotovoltaica. Disponível em:<<http://americadosol.org/beneficios-e-custos-daenergia-solar/>> Acesso em: 30 de abril 2018.

AYOP, R.; ISA, N. M.; & TAN, C. W. Components sizing of photovoltaic stand-alone system based on loss of power supply probability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.81, p. 2731–2743, 2018.

BANDEIRANTES, Bandeirantes sinais viários. Disponível em <http://www.bandeirantessinais.com.br/tachas/> Acesso em 21 de abril de 2018.

BANU, S.; CHO, Y.; KIM, K.; AHN, S. K.; CHO, J. S.; GWAK, J.; CHO, A. Effect of Cu content in CuSbS₂ thinfilms using hybrid inks: Their photovoltaic properties and defect characteristics. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, v. 189, p. 214-223, 2019.

BATISTA, V. R.; NASCIMENTO, J. J. S.; LIMA, A. G. B. Secagem e queima de tijolos cerâmicos maciços e vazados incluindo variações dimensionais e danos estruturais. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, Vol.3.1, p.46-61, 2008.

BECQUEREL, E. Memoires sur les effets electriques produits sous l'influence des rayons. *Comptes Rendues*, v. 9, p. 561, 1839.

BELAQZIZ, M.; MEDJNOUN, K.; DJESSAS, K.; CHEHOUANI, H.; GRILLO, S. E. Structural and optical characterizations of Cu₂SnS₃ (CTS) nanoparticles synthesized by one-step green hydrothermal route. *Materials Research Bulletin*, v. 99, p. 182–188, 2018.

BORGES, A. C. P.; SILVA, M. S.; ALVES, C. T.; TORRES, E. A. Energias renováveis: uma contextualização da biomassa como fonte de energia. REDE – Revista Eletrônica do PRODEMA Fortaleza, Brasil, v. 10, n. 2, p. 23-36, jul./dez. 2016.

BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L. Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos, 11ª Edição. Pearson Education do Brasil, 2013.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. *Cerâmica*, v.61, p. 178-189, 2015.

BRITNELL L.; RIBEIRO R. M.; ECKMANN A.; JALIL, R.; BELLE, B. D.; MISHCHENKO, A.; KIM, Y. J.; GORBACHEV, R. V.; GEORGIOU, T.; MOROZOV, S. V.; GRIGORENKO, A. N.; GEIM, A. K.; CASIRAGHI, C.; CASTRO NETO, A. H.; NOVOSELOV, K. S.; Strong Light-Matter Interactions in Heterostructures of Atomically Thin Films. *Science*, v. 340, p. 1311-1314, jun. 2013.

CALAIA, F. J. S. Estudo comparativo de três tecnologias fotovoltaicas: Estudo experimental com transposição para um nível macro. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Técnica de Lisboa, 135p, 2011.

CARLESSO, F.; GÓMEZ, J. M. R.; VIEIRA, L. E. A.; DA SILVA, S. G.; BERNI, L. A.; COSTA, L. L. Conceitos básicos de radiômetros de substituição elétrica para medidas da Irradiância Solar Total. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 41, nº 2, p. 1-10, 2019.

CARDOSO, A. C. F.; GALATTO, S. L.; GUADAGNIN, M. R. Estimativa de geração de resíduos da construção civil e estudo de viabilidade de usina de triagem e reciclagem. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n°31, p. 1-10, 2014.

CARDOSO, E. A.; TRIGOSO, F. B. M.; BENEDITO, R. S.; PUMA, J. L. A. Proposta de algoritmo de otimização para obtenção do ponto de máxima potência de um sistema fotovoltaico baseado em redes neurais artificiais. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado, 17 a 20 de abril de 2018. p. 1-10, 2018.

CASTRO, R. M. G. *Energias Renováveis e Produção Descentralizada: Introdução à energia fotovoltaica*. Universidade Técnica de Lisboa. Edição 0, DEEC / Seção de Energia, 51p., 2002.

CARRERA, G. V. S. M.; BRANCO, L. C.; PONTE, M. N. *Bio-inspired Systems for Carbon Dioxide Capture, Sequestration and Utilization*. InTech, Edited Volume, 264 p, 2017.

CHATZISIDERIS, M. D.; LAURENT, A.; CHRISTOFORIDIS, G. C.; KREBS, F. C. Cost-competitiveness of organic photovoltaics for electricity selfconsumption at residential buildings: A comparative study of Denmark and Greece under real market conditions. *Applied Energy*, v. 208, p. 471-479, 2017.

CHEN, R., MCKEEVER, S. W. S. - Theory of Thermoluminescence and Related Phenomena, *World Scientific*, Singapore, 189p , 1997.

CHIERCHIA, R.; PIGNA, F.; VALENTINI, M.; MALERBA, C.; SALZA, E.; MANGIAPANE, P.; POLICHETTI, T.; MITTIGA, A. Cu₂SnS₃ based solar cell with 3% efficiency. *Physica Status Solidi*, v. 13, No. 1, p. 35–39, 2016.

COSTA, P. F. S.; LÖBLER, P. H. B.; CARVALHO, L. L.; PERANCONI, P. G.; ROGGIA, L.; SCHUCH, L. Conversor dab aplicado à carga de banco de baterias em uma

microrrede com geração fotovoltaica. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado, 17 a 20 de abril de 2018.

CRES, E. P. N.; SPERS, V. R. E.; CAMARGO, S. H. C. R. V. - Sustentabilidade e a cultura organizacional In: Sustentabilidade e o setor sucroenergético – Itú –SP , *Ed. Ottoni*, 1a edição, Cap. 2, p. 25-38, 2012.

CRESESB – Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data> > . Acessado em 01 de fevereiro de 2018.

DA SILVA, I. B.; PINHEIRO, R.; AMERICANO, I.; THOMAS, H. Y.; DE OLIVEIRA, K. C. Materiais aplicados à geração de energia solar em edificações. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado, 17 a 20 de abril de 2018, p. 1-8, 2018.

DAVIDSEN, R. S.; HEMANTH, S.; KELLER, S. S.; BEK, T.; HANSEN, O. Evaluation of the capacitive behavior of 3D carbon electrodes for sub-retinal photovoltaic prosthesis. *Micro and Nano Engineering*, v. 2, p. 110 – 116, 2019.

DA TORRE, P. Y. G.; ALVES, J. C. M; CORRÊA, S. F.; análise de eficiência energética para indústria têxtil: um estudo de caso em uma empresa de Minas Gerais. *Revista Produção Online*. Florianópolis, SC, v. 18, n. 1, p. 238-264, 2018.

DE MAGALHÃES, R. F.; DANILEVICZ, A. M. F.; SAURIN, T. A. Reducing construction waste: A study of urban infrastructure projects. *Waste Management*, v.67, p. 265 – 277, 2017.

DING, Z.; ZHU, M.; TAM, V. W. Y.; YI, G.; TRAN, C. N. N.A System dynamics-based environmental benefit assessment model of construction waste reduction management at the design and construction stages. *Journal of Cleaner Production*, v.176, p. 676-692, 2018.

DONATO, C. J.; DA SILVA, I. C.; ASTOLPHI, J. L. L.; ALVIM, J. L.; ULIANA, M. R., MULLER, T. Reciclagem de resíduos da construção civil. *Colloquium Humanarum*, vol. 14, n. Especial, Jul–Dez, 2017, p. 666-670, 2017.

DOS SANTOS, H. A.; CARNEIRO, T. C.; ANTUNES, F. L. M. Conversor para interligação de sistema de geração fotovoltaico à rede elétrica. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado, 17 a 20 de abril de 2018, p. 1-8, 2018.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. [S.l.]:John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2013.

ECYCLE. Sua pegada mais leve. Disponível em <<http://www.ecycle.com.br/component/content/article/35-atitude/1119-residuos-da-construcao-civil-terao-plano-especifico-de-descarte-com-a-pnrs.html>> Acesso em 21 de abril de 2018.

EIDT, W.; NEGRINI, F.; RODRIGUES, G. O.; SIMONETTO, E. O.; ANTUNES, M. C. Geração solar fotovoltaica como proposta para redução do custo da energia elétrica de uma instituição de ensino Superior. 3º Congresso Nacional de Inovação e Tecnologia - INOVA setembro de 2018 - São Bento do Sul-SC, p. 1-10, 2018.

ESA, M.R.; HALOG, A.; RIGAMONTI, L. Strategies for minimizing construction and demolition wastes in Malaysia. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 120, p. 219-229, 2017.

EUROSTAT (2016) *Waste Statistics*. Eurostat, Luxembourg, Luxembourg. Disponível em <http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics> Acessado em maio de 2017.

EVANS, D. L.; FLORSCHUETZ, L. W. Cost studies on terrestrial photovoltaic power systems with sunlight concentration. *Solar Energy*, v.19, n.3, p. 255-262, 1977.

FERREIRA JUNIOR, J. C. G. ; RODRIGUES, M. G. Um Estudo sobre Energia Eólica no Brasil. *Ciência Atual*, v. 5, n.1, p. 2-13, 2015.

FISCHER, F. Photoelectrode, photovoltaic and photosynthetic microbial fuel cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.v. 90, p. 16-27, 2018.

FONSECA, J. P. S. M.; FERRARI, E. M. M.; CARDOSO, R. B. Análise dos impactos energéticos e econômicos do programa brasileiro de etiquetagem energética (PBE/Inmetro) em coletores solares térmicos do Brasil. *Research, Society and Development*, v. 7, n. 1, p. 01-17, 2018.

GONÇALVES, G. G. Projeto de uma minigeração fotovoltaica no prédio do centro de tecnologia da UFRJ. (Graduação em Engenharia Elétrica). Curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 94p., 2018.

GÓMEZ, J. M. R.; CARLESSO, F.; VIEIRA, L. E.; DA SILVA, L. A irradiância solar: conceitos básicos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 40, nº 3, p. 1-12, 2018.

GU, Z.; GUO, J.; HAO, R.; LIN, Z.; ZHU, W. An efficient strategy to supervise absorption, mobility, morphology of photovoltaic molecule by inserting a D-A unit. *Dyes and Pigments*, v. 162, p. 515, 522, 2019.

GUEDES, L. M. SANTOS, E. C., OLIVEIRA, M. A. G. Alocação de geração distribuída em redes de distribuição radiais considerando análise de curva de carga. XIII Encontro Regional Ibero Americano do Comitê Nacional Brasileiro de 2009.

GUISSO, I. L. Estudo e desenvolvimento de um algoritmo de detecção da operação ilhada para sistemas pv, aplicado a um microinversor baseado no conversor zeta. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Faculdade de Engenharia, PUC-RS, Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 167p, 2015.

HAN, Q.; HSIEH, Y. T.; MENG, L.; WU, J. L.; SUN, P.; YAO, E. P.; CHANG, S. Y.; BAE, S. H.; KATO, T.; BERMUDEZ, V.; YANG, Y. High-performance perovskite/Cu(In,Ga)Se₂ monolithic tandem solar cells. *Science*, v. 361, p. 1-22, 2018.

HENRY, C. H. Limiting efficiencies of ideal single and multiple energy gap terrestrial solar cells. *Journal of Applied Physics*, 51(8), p. 4494–4500. doi:10.1063/1.328272, 1980.

HIPÓLITO, H. L.; COLLE, S. Painel solar híbrido: Tecnologia capaz de gerar eletricidade e água quente em um sistema único de alta eficiência. Prêmio Odebrecht para o desenvolvimento sustentável. São Paulo, v.8, p. 42-57, 2016.

IEA, International Energy Agency (IEA, 2015) Key World Energy Statistics 2015 Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/keyworld-energy-statistics-2015.html> Acessado em: 02 de dezembro de 2017.

IEA, International Energy Agency. Disponível em: <https://www.iea.org/topics/renewables/>. Acessado em 16 de agosto de 2018.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e tecnologia. Tabela de eficiência energética – sistema de energia fotovoltaica - módulos - Edição 01/2016. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabela_fotovoltaico_modulo.pdf > Acesso em 30 de abril de 2018.

IRENA, International Renewable Energy Agency. The power to change: solar and wind cost reduction potential to 2025. pg.122, 2016.

JE, H. I.; HONG, J.; KWON, H.; KIM, N. Y.; PARK, C. E.; KWON, S. K., KIM, Y.H. End-group tuning of DTBDDT-based small molecules for organic photovoltaics, *Dyes and Pigments*, v.157, p. 93-100, 2018.

JOHNSON, K.; KERR, S. Wave and Tidal Energy. nd Tidal Energy. In: Salomon M., Markus T. (eds) Handbook on Marine Environment Protection. Science, Impacts and Sustainable Management. *Springer*, v. 1 e 2, p. 827-841, 2018.

KALOGIROU, S. A. Engenharia de energia solar: processos e sistemas. 2ª edição, Rio de Janeiro, Elsevier, 864p., 2016.

KEELEY, A. R.; MATSUMOTO, K. Investors' perspective on determinants of foreign direct investment in wind and solar energy in developing economies – Review and expert opinions. *Journal of Cleaner Production*, v.179, p.132-142, 2018.

KLEPA, R. B. Uma abordagem sustentável no desenvolvimento de um material com alta capacidade reflexiva a partir de resíduo da construção civil. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Faculdade de Engenharia, Universidade Nove de Julho, São Paulo, 77p, 2012.

KLEPA, R. B.; PRAZERES, K. C.; SILVA, T. A. F.; SANTANA, J. C. C. Comparação entre os módulos de células fotovoltaicas classificados pelas normas Brasileiras. In: XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, João Pessoa - PB. Anais do ENEGEP. Rio de Janeiro - RJ:ABEPRO, v. 1. p.1-10, 2016.

KLEPA, R. B.; PRAZERES, K. C.; SILVA, T. A. F.; SANTANA, J. C. C. Comparação entre os módulos de células fotovoltaicas classificados pelas normas Brasileiras. Sustentabilidade e responsabilidade Social, Editora Poisson, v. 2. 1ª edição, 269p., 2017.

KLEPA, R. B.; MEDEIROS, M. F.; FARIAS, T. M. B.; SANTANA, J. C. C. Viabilidade econômica de um sensor termoluminescente produzido a partir dos resíduos da construção civil. In. XXIV SIMPEP – Simpósio de Engenharia de Produção. Contribuições Da Engenharia De Produção para uma economia de baixo carbono. Bauru – SP, v.1, p. 1-13, 2017.

KLEPA, R. B.; MEDEIROS, M. F.; FRANCO, M. A. C. ; TAMBERG, E. T.; FARIAS, T. M. B.; PASCHOALIN FILHO, J. A.; BERSANETI, F. T. ; SANTANA, J. C. C. Reuse of construction waste to produce thermoluminescent sensor for use in highway traffic control. *Journal of Cleaner Production*, v. 209, p. 250-258, 2019.

KREITH, F.; BOHN, M. S. Princípios de transferencia de calor, Editora Edgar Blücher, São Paulo, 1977.

LI, M.; LI, N.; CHEN, G.; SASAKI, S.; WANG, X. F. Perovskite solar cells based on chlorophyll hole transporters: Dependence of aggregation and photovoltaic performance on aliphatic chains at C17-propionate residue. *Dyes and Pigments*, v. 162, p. 763-770, 2018.

LUO, Q.; DENG, X.; ZHANG, C.; YU, M.; ZHOU, X.; WANG, Z.; CHEN, X.; HUANG, S. Enhancing photovoltaic performance of perovskite solar cells with silica nanosphere antireflection coatings, v.169, p. 128-135, 2018.

LU, W.; WEBSTER, C.; CHEN, K.; ZHANG, X.; CHEN, X. Computational Building Information Modelling for construction waste management: Moving from rhetoric to reality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 68, p. 587–595, 2017.

MANDOWSKA, E.; MANDOWSKI, A. Numerical analysis of a new spectrally resolved thermoluminescence measurement method. *Measurement*, v.136, p. 603–607, 2019.

MANTOVANI, P. R. A.; NEUMANN, P. N.; EDLER, M. A. R. Matriz energética brasileira: em busca de uma nova alternativa. *Revista Interdisciplinar de Ensino, Pesquisa e Extensão*, v. 4, n.1, p. 228 – 239, 2017.

MATOS, J. P. C.; DE ALENCAR, T. C. S. B. D. Gerenciamento de resíduos sólidos e a aplicação da logística reversa no segmento da construção civil. *Id on Line Rev. Mult. Psic.* v.13, n. 43, p. 784-807, 2019.

MEDEIROS, M. F. ; OLIVEIRA, D. E. P. ; MIRANDA, A. C. ; SANTANA, J. C. C. ; SILVA, T. A. F. . Viabilidade Econômica de Uma Manta Térmica Produzida a partir do Resíduo de Asfalto Empregada na Cobertura de Telhado. In: XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2017, Joinville - SC. Anais do ENEGEP 2017. Rio de Janeiro - RJ: Editora da ABEPRO, v. 1. p. 1-10, 2017.

MEDEIROS, F. K., AQUINO, R. C. A., RODRIGUES, A. M. T., SILVA, H. C., DIAS, I. B.C., FERREIRA, H. S., Produção de tijolos maciços e placas cerâmicas de revestimento com adição de óleo lubrificante usado. *Cerâmica Industrial*, v. 19, nº 2, p. 38-45, 2014.

MENDONÇA, P. T. P. Modelação Hidrodinâmica de Sistemas de Arfagem para Conversão de Energia de Ondas. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Arquitetura Naval, Instituto Superior Técnico Fenix, Lisboa -PT, 96p, 2016.

MOREIRA, A.B.S; MACEDO, A.N.; SOUZA, P.S.L. Masonry concrete block strength compound with sawdust according to residue treatment. *Acta Scientiarum Technology*. v.34, n.3, p. 269-276, 2012.

MME, Ministério de Minas e Energias “Balanço Energético Nacional 2016: ano base 2015 – Relatório Síntese”, 2016a. <Disponível em https://ben.epe.gov.br/downloads/S%c3%adntese%20do%20Relat%c3%b3rio%20Final_2016_Web.pdf>, Acessado em Outubro 2018.

NEHM, F.; PFEIFFELMANN, T.; DOLLINGER, F.; MÜLLER-MESKAMP, L.; LEO, K. Influence of aging climate and cathode adhesion on organic solar cell stability. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, v. 168, p. 1-7, 2017.

NEOSOLAR, Painel Solar Fotovoltaico 265Wp - Canadian CSI CS6P-265P – BR. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-265wp-canadian-csi-cs6p-265p.html>>. Acessado em 30 de julho de 2017.

NEVES, G. M. Influência do espectro da radiação solar em módulos fotovoltaicos. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores, INPE, São José dos Campos, 240p., 2016.

NT-SOLAR. Núcleo de Tecnologia em Energia Solar. Energia solar fotovoltaica <<http://www.pucrs.br/cbsolar/energia.php>> Acessado em 19 de julho de 2017.

OCHOA, A. A.; DINIZ, H.; SANTANA, W.; SILVA, P.; OCHOA, L. Aplicação de uma fonte alternativa de energia termelétrica a gás natural visando reduzir o custo com energia elétrica em um edifício comercial. *Holos*, ano 31, v.1, p. 72-86, 2015.

OKIGAMI, P. T. Avaliação das ferramentas EVSM e MEFA para modelagem do fluxo de energia em projetos de eficiência energética na indústria. São José dos Campos: ITA, 71 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aeronáutica e Mecânica do Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2015.

O'REGAN, B.; GRATZEL, M. A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye sensitized colloidal TiO₂ films. *Nature*, v.353, p. 737- 739, 1991.

OLIVEIRA NETTO, A. A.; TAVARES, W. R. Introdução à Engenharia de Produção. Florianópolis, *Visual Books*, 164p., 2006.

ONOFREI, E.; CODAU, T. C.; BEDEK, G.; DUPONT, D.; COCHRANE, C. Textile sensor for heat flow measurements. *Textile Research Journal*, v. 87(2), p. 165-174, 2017.

OTHMAN, M. F.; ADAM, A.; NAJAFI, G.; MAMAT, R. Green fuel as alternative fuel for diesel engine: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.140>, v.80, p.694-709, 2017.

PASCHOLIN FILHO, J.A.; STOROPOLI, J.H.; GUERNER DIAS, A.J. Evaluation of compressive strength and water absorption of soil-cement bricks manufactured with addition o PET (polyethylene terephthalate). *Acta Scientiarum Technology*, v. 38, n. 2, p.163-171, 2016.

PASSARINI, K. C. ; PEREIRA, M, A.; FARIAS, T. M. B.; CALARGE, F. A. ; SANTANA, C. C.. Assessment of the viability and sustainability of an integrated waste management system for the city of Campinas (Brazil), by means of ecological cost accounting. *Journal of Cleaner Production*, v. 65, p. 479-488, 2014.

PAPPU, A.; SAXENA, M.; ASOLEKAR, S.R. Solid waste generation in India and their recycling potencial in building materials. *Building Environmental*, v. 42, n. 6, p. 2311-2320, 2007.

PEDROSO, L. L. A.; DA SILVA, F. F.; DA SILVA, F. F.; MELO, A. M.; JUNIOR, M. E.; SHIMOYA, A. Current and future demands for biomass and renewable energy in Brazil and Worldwide. *Brazilian Journal of Development* , Curitiba, v. 4, n. 5, Edição Especial, p. 1980-1996, 2018.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RÜTHER, R. *Atlas brasileiro de energia solar*. 1ª edição, São José dos Campos: INPE, 64p., 2006.

PEREIRA, L.; MESQUITA, O. S.; IANO, Y. Energia solar fotovoltaica visando sustentabilidade. *Brazilian Technology Symposium*, v.1, pp. 1-4, 2017.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; DE LIMA, F. J. L.; RÜTHER, R.; DE ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; DE SOUZA, J. G. -INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Atlas Brasileiro de Energia Solar. 2.ed. - São José dos Campos : INPE, 88p., 2017.

PORTAL ENERGIA. Fontes de energia renováveis e não renováveis. <<http://www.portal-energia.com/fontes-de-energia/>>. Acessado em 29 de janeiro de 2017.

PORTAL SOLAR. Célula fotovoltaica.<<http://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>>. Acessado em 19 de julho de 2017.

RAPHAEL, E.; SILVA, M. N.; SZOSTAK, R.; SCHIAVON, M. A.; NOGUEIRA, A. F. Células solares de perovskitas: uma nova tecnologia emergente. *Química. Nova*, v. 41, n. 1, p. 61-74, 2018.

PROCELINFO – Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. Selo procel eletrobrás para painéis solares fotovoltaicos. Disponível em <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp>> Acesso em 30 de abril de 2018.

RANI, S., SURI, P., SHISHODIA, P. K., MEHRA, R. M. Synthesis of nanocrystalline ZnO powder via sol–gel route for dye-sensitized solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, v. 92, n° 12, p. 1639–1645, 2008.

ROSA, A. V. *Processos de energias renováveis*. 3ª edição, Rio de Janeiro, Elsevier, 911p., 2015.

ROSSI, T. J. Equações de estimativas das irradiações e frações: global, difusa e direta infravermelha em Botucatu/ sp/Brasil. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, 79p., 2018.

RÜTHER, R., NASCIMENTO, L. R., CAMPOS, R. A. Extreme overirradiance events in Brazil: consequences on PV power plant output performance, submitted to *Solar Energy*, 2017.

SAHLI, M.; CORREIA, J. P. M.; AHZI, S.; TOUCHAL, S. Multi-physics modeling and simulation of heat and electrical yield generation in photovoltaics. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, v. 180, p. 358-372, 2018.

SAMPAIO, D. M.; THIRUMAL, E.; BARROS, A. L. F. de. The effect of photo-anode surface morphology and gel-polymer electrolyte on dye-sensitized solar cells with natural dyes. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, v. 27, Issue 9, p. 9953–9961, September, 2016.

SANTOS, D. R. C. G.; NASCIMENTO, G. F.; XAVIER, V. L. C.; COSTA, J. F. Energia solar fotovoltaica: um estudo de caso da aplicação no sistema de iluminação em uma instituição de ensino profissionalizante. *Revista Geintec*, v.7, n.2, p. 3859-3875, 2017.

SHAIKH, J. S.; SHAIKH, N. S.; SHAIKH, A.; MALI, S. S.; KALE, A. J.; KANJANABOOSB, P.; HONG, C. K.; KIM, J. H.; PATIL, P. S. Perovskite solar cells: In pursuit of efficiency and stability. *Materials & Design*, v. 136, p. 54-80, 2017.

SILVA, R.V.; DE BRITO, J.; DHIR, R.K. Availability and processing of recycled aggregates within the construction and demolition supply chain: A review. *Journal of Cleaner Production*, v. 143, p. 598-614, 2017.

SOUZA JUNIOR, J. F.; Um material paradidático em formato digital para problematizar ideias sobre variações locais da temperatura superficial da terra ao longo do dia. (Dissertação) apresentada ao Programa de PósGraduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 148p., 2018.

STOCKXCHNG. Free stock photos.<<http://www.scx.hu/>>. Acessado em 12 de março de 2017.

TAHERSIMA, M. H.; SORGER, V. J. Strong Photon Absorption in 2-D Material-Based Spiral Photovoltaic Cells. V. 1, issue 59, *Energy and Sustainability*, p. 3915-3921, 2016.

TECHNOLOGYREVIEW.<http://www.technologyreview.com.br/read_article.aspx?id=48574>. Acessado em 05 de abril de 2017.

TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, E. B.; JUNIOR, J. U.; PEREIRA, S. V.; GONÇALVES, A. R.; DE LIMA, F. J. L.; COSTA, R. S.; ALVES, A. R. Atlas de energia solar do estado do Paraná – resultados. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado, 17 a 20 de abril, p.1-10, 2018.

TOKORO, H.; Marie Yoshikiyo, Kenta Imoto, Asuka Namai, Tomomichi Nasu, Kosuke Nakagawa, Noriaki Ozaki, Fumiyoshi Hakoe, Kenji Tanaka, Kouji Chiba, Rie Makiura, Kosmas Prassides e Shin-ichi Ohkoshi. External stimulation-controllable heat-storage ceramics. *Nature Communications*, DOI: 10.1038, p. 1 – 8, mar. 2015.

THONGKAMSUK, P.; SUDASNA, K.; TONDEE, T. Waste generated in high-rise buildings construction: A current situation in Thailand. *Energy Procedia* v.138, p.411–416, 2017.

TOMASQUIM, M. T. Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear. EPE (Empresa de Pesquisa Energética): Rio de Janeiro, 417p., 2016.

TONUI, P.; OSENI, S. O.; SHARMA, G.; YAN, Q.; MOLA, G. T. Perovskites photovoltaic solar cells: An overview of current status. *Renewable and Sustainable Energy*, v. 91, p. 1025-1044, 2018.

TORRES, C. S. Produção de hidrogênio a partir de glicerina em eletrodos de Ni-Zn. Estudos Tecnológicos em Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Laboratório de Pesquisa em Corrosão – Departamento de Metalurgia. *Revista Unisinos*, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 71-76, jul/dez 2014.

TORRES, C. S. Eletrodos para produção de hidrogênio por eletrólise a partir de glicerina e sacarose. Tese (doutorado). – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas,

Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRS. Laboratório de Pesquisa em Corrosão – Departamento de Metalurgia, Porto Alegre, 100p, 2014.

UCHINO, K.; MIYAZAWA, Y.; NOMURA, S. High-Voltage Photovoltaic Effect in PbTiO₃-Based Ceramics, *Japanese Journal of Applied Physics*, v.21, n.12, p. 1671-1674, 1982.

UNILA - Universidade Federal da Integração Latino-Americana. <<https://dspace.unila.edu.br/handle/123456789/863>>. Acessado em 11 de março de 2017. VILLALVA, M. G. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. 2ª edição rev. e atual., São Paulo, Érica, 224p., 2015.

WANG, J., WU, H., DUAN, H., ZILLANTE, G., ZUO, J., YUAN, H., Combining life cycle assessment and Building Information Modelling to account for carbon emission of building demolition waste: a case study. *J. Clean. Prod.* 172, 3154–3166, 2018.

WANG, Z. L.; JIANG, T.; XU, L. Toward the blue energy dream by triboelectric nanogenerator networks. *Nano Energy*, v.39, p. 9-23, 2017.

WU, H.; HUANG, Z.; HUA, T.; LIAO, C.; MEIER, H.; TANG, H.; WANG, L.; CAO, D. Metal-free organic dyes with di(1-benzothieno)[3,2-b:2',3'-d] pyrrole as a donor for efficient dye-sensitized solar cells: Effect of mono- and bi-anchors on photovoltaic performance, *Dyes and Pigments*, v. 165, p. 103-111, 2019.

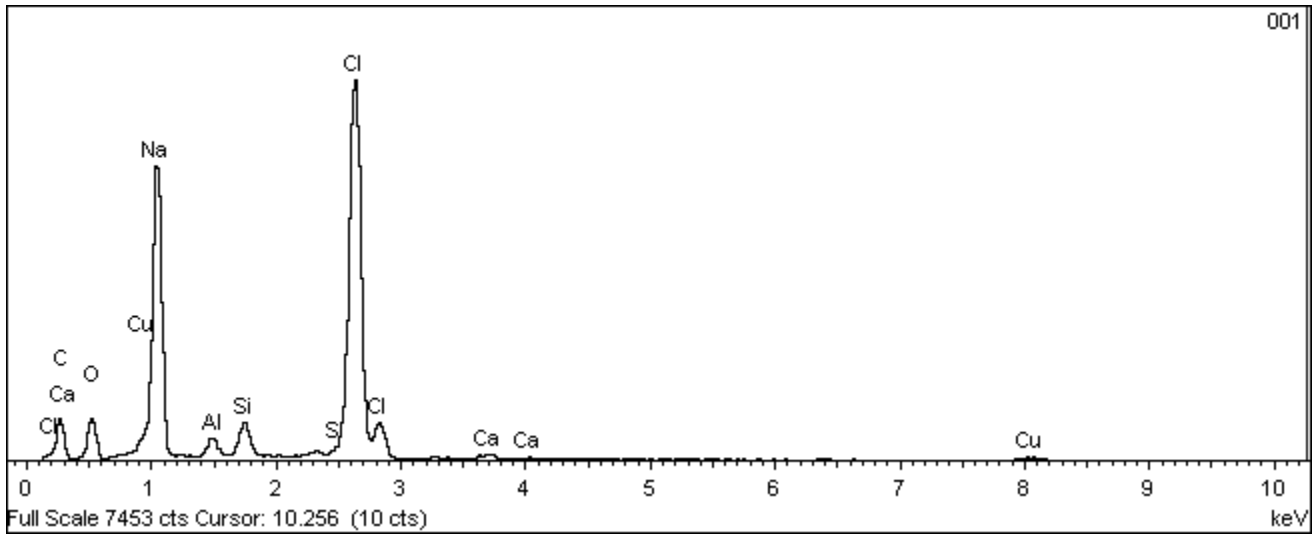
YANG, M.; ZHOU, Y.; ZENG, Y.; JIANG, Chun-Sheng; PADTURE, N. P.; ZHU, K. Square-Centimeter Solution-Processed Planar CH₃NH₃PbI₃ Perovskite Solar Cells with Efficiency Exceeding 15%. *Advanced Materials*, v. 27, p. 6363 – 6370, nov. 2015.

ZHAO D.; FABIANO, S.; BERGGREN, M.; CRISPIN, X. Ionic thermoelectric gating organic transistors. *Nature Communications*, DOI: 10.1038/ncomms14214, p. 1-7, jan. 2017.

ZHANG, H.; IQBAL, Z.; CHEN, Z. E.; HONG, Y. Effects of various heteroatom donor species on the photophysical, electrochemical and photovoltaic performance of dye-sensitized solar cells. *Electrochimica Acta*, v. 290, p. 303-311, 2018.

ZILLES, R; MACÊDO, W. N.; GALHARDO, M. A. B.; OLIVEIRA, S. H. FREREIRA DE Sistemas Fotovoltaicos Conectados e Rede Elétrica. São Paulo: *Oficina de Textos*, v.1, 2012.

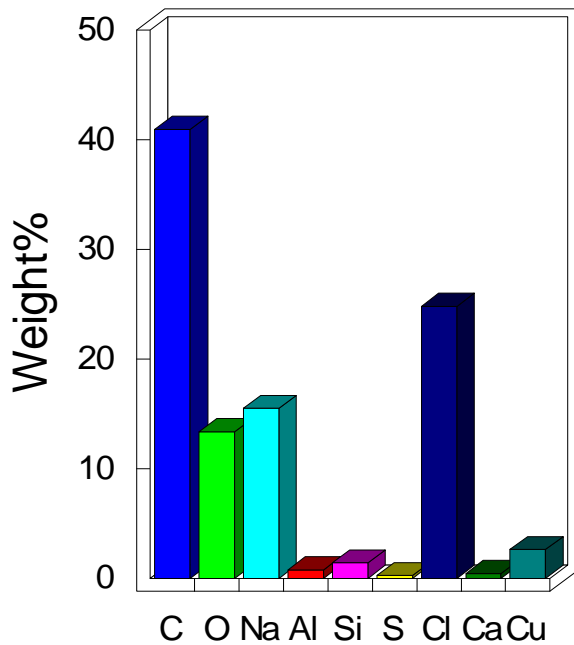
APÊNDICES



Spectrum processing :
Peak possibly omitted : 6.370 keV

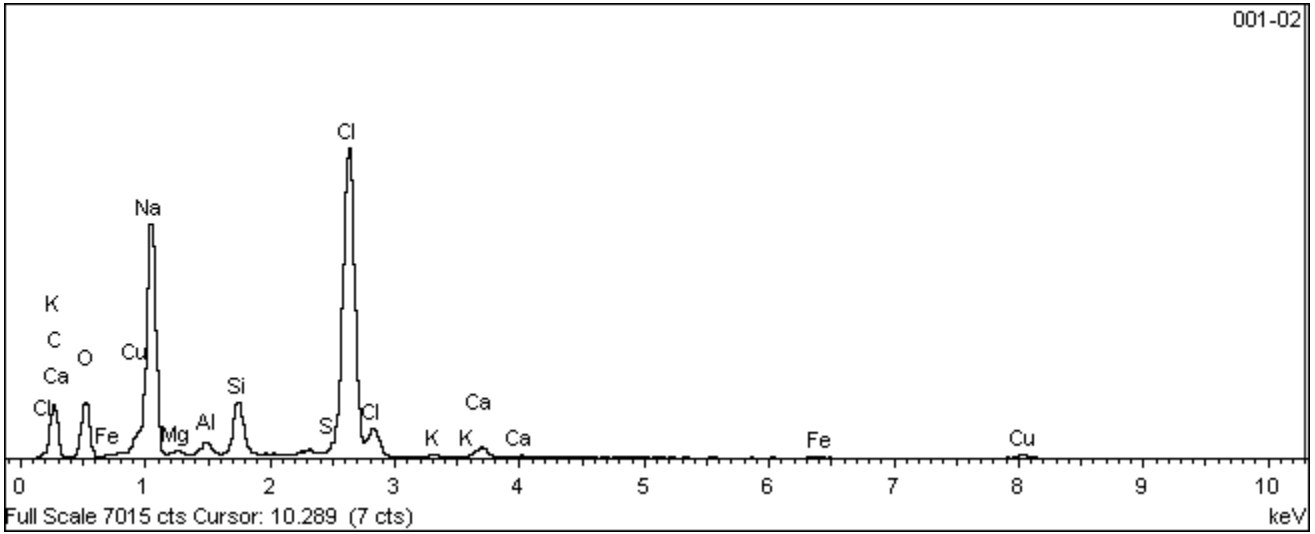
Processing option : All elements analyzed
(Normalised)
Number of iterations = 5

Quantitative results



Standard :
 C CaCO₃ 1-Jun-1999 12:00 AM
 O SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
 Na Albite 1-Jun-1999 12:00 AM
 Al Al₂O₃ 1-Jun-1999 12:00 AM
 Si SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
 S FeS₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
 Cl KCl 1-Jun-1999 12:00 AM
 Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM
 Cu Cu 1-Jun-1999 12:00 AM

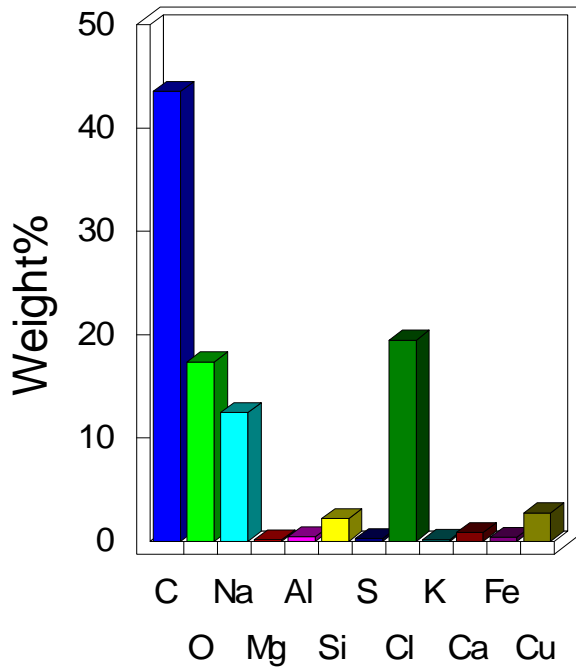
Element	Weight%	Atomic%
C K	40.94	59.25
O K	13.35	14.51
Na K	15.48	11.70
Al K	0.76	0.49
Si K	1.40	0.87
S K	0.24	0.13
Cl K	24.80	12.16
Ca K	0.42	0.18
Cu K	2.62	0.72
Totals	100.00	



Spectrum processing :
No peaks omitted

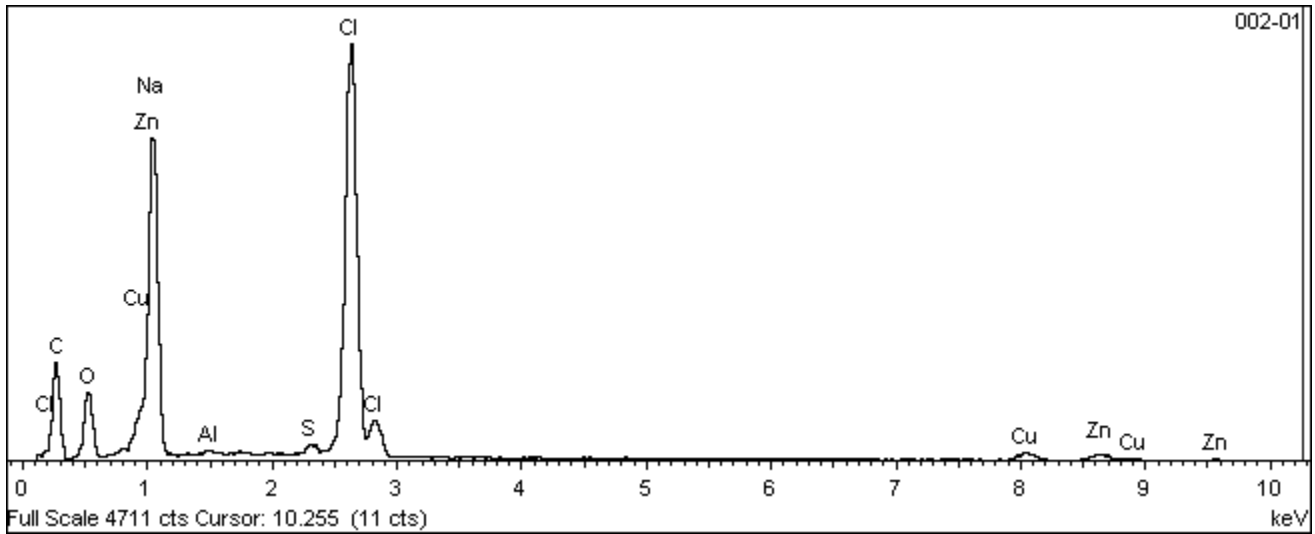
Processing option : All elements analyzed
(Normalised)
Number of iterations = 5

Quantitative results



Standard :
 C CaCO3 1-Jun-1999 12:00 AM
 O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM
 Na Albite 1-Jun-1999 12:00 AM
 Mg MgO 1-Jun-1999 12:00 AM
 Al Al2O3 1-Jun-1999 12:00 AM
 Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM
 S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM
 Cl KCl 1-Jun-1999 12:00 AM
 K MAD-10 Feldspar 1-Jun-1999 12:00 AM
 Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM
 Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
 Cu Cu 1-Jun-1999 12:00 AM

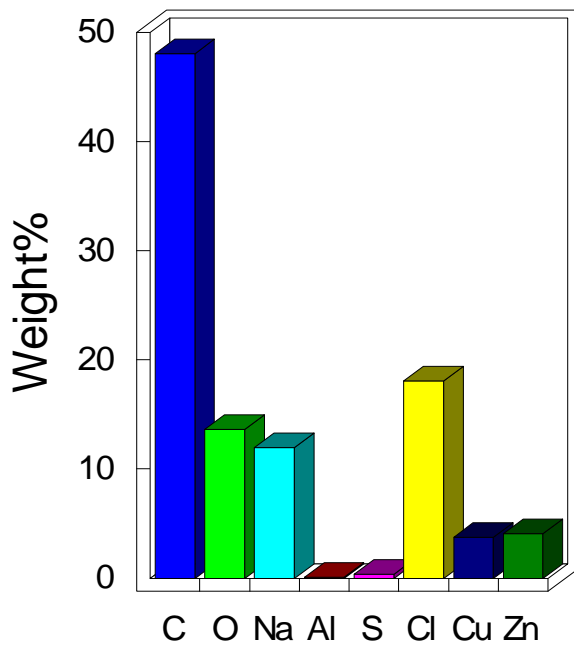
Element	Weight%	Atomic%
C K	43.54	60.56
O K	17.36	18.13
Na K	12.47	9.06
Mg K	0.15	0.10
Al K	0.46	0.28
Si K	2.19	1.30
S K	0.25	0.13
Cl K	19.46	9.17
K K	0.17	0.07
Ca K	0.83	0.35
Fe K	0.37	0.11
Cu K	2.76	0.73
Totals	100.00	



Spectrum processing :
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed
(Normalised)
Number of iterations = 5

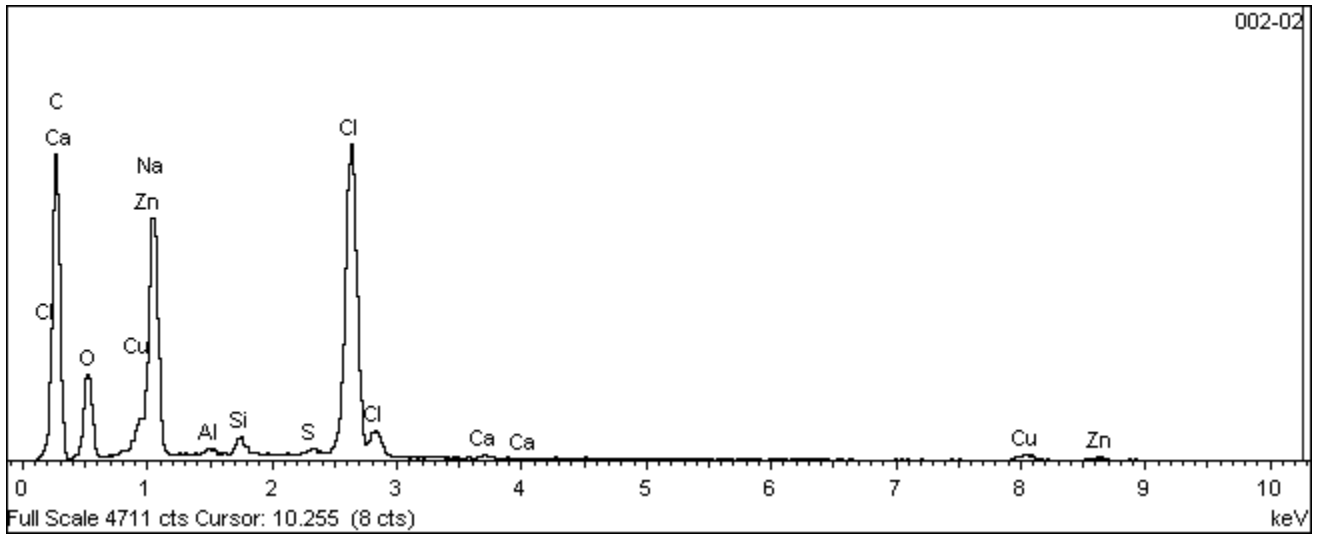
Quantitative results



Standard :

C CaCO₃ 1-Jun-1999 12:00 AM
O SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
Na Albite 1-Jun-1999 12:00 AM
Al Al₂O₃ 1-Jun-1999 12:00 AM
S FeS₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
Cl KCl 1-Jun-1999 12:00 AM
Cu Cu 1-Jun-1999 12:00 AM
Zn Zn 1-Jun-1999 12:00 AM

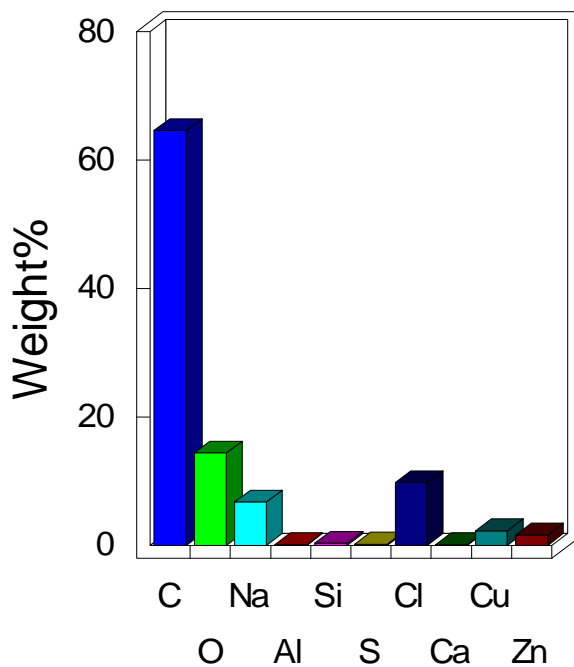
Element	Weight%	Atomic%
C K	48.04	66.46
O K	13.65	14.18
Na K	11.95	8.63
Al K	0.09	0.06
S K	0.35	0.18
Cl K	18.07	8.47
Cu K	3.75	0.98
Zn K	4.09	1.04
Totals	100.00	



Spectrum processing :
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed
(Normalised)
Number of iterations = 5

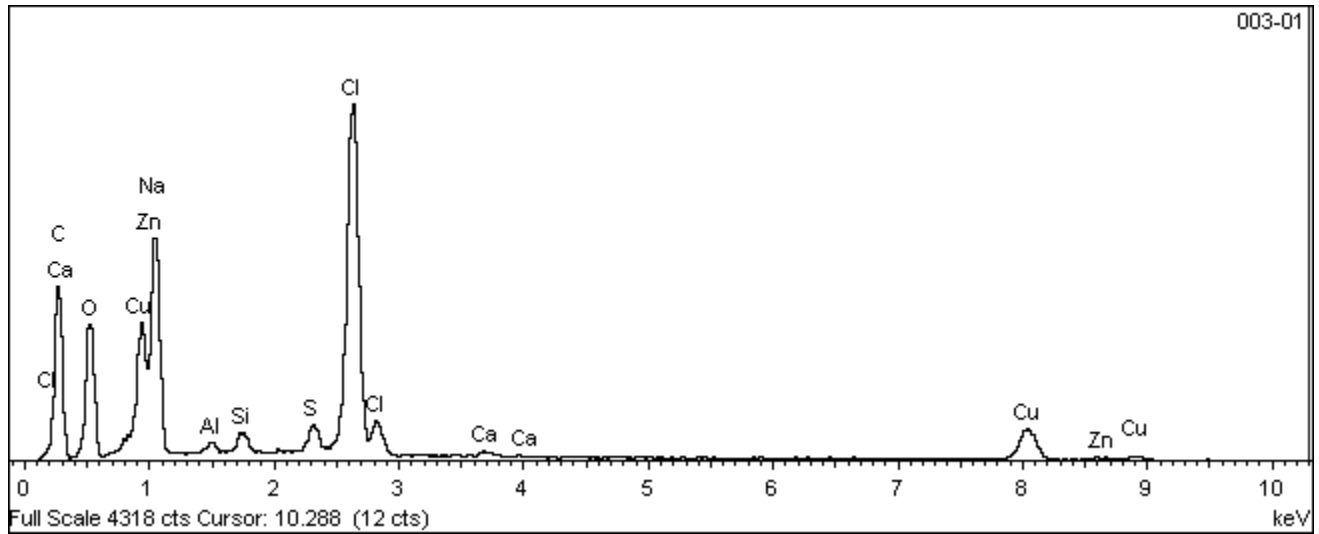
Quantitative results



Standard :

C CaCO₃ 1-Jun-1999 12:00 AM
O SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
Na Albite 1-Jun-1999 12:00 AM
Al Al₂O₃ 1-Jun-1999 12:00 AM
Si SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
S FeS₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
Cl KCl 1-Jun-1999 12:00 AM
Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM
Cu Cu 1-Jun-1999 12:00 AM
Zn Zn 1-Jun-1999 12:00 AM

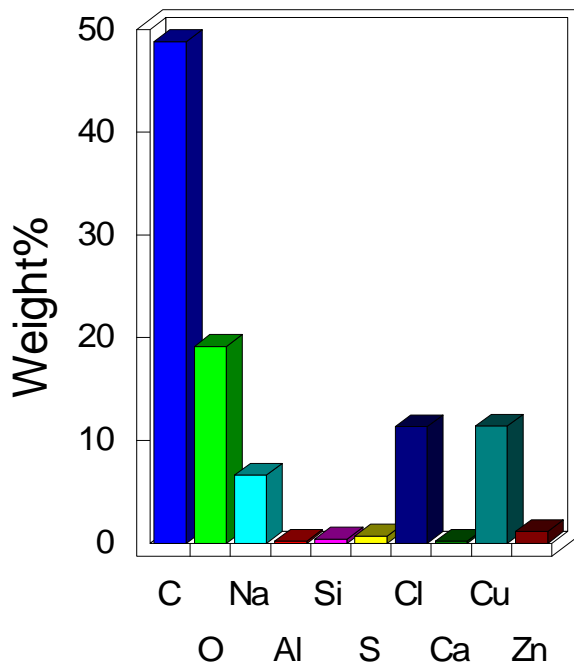
Element	Weight%	Atomic%
C K	64.57	77.61
O K	14.39	12.99
Na K	6.73	4.23
Al K	0.10	0.05
Si K	0.32	0.16
S K	0.16	0.07
Cl K	9.77	3.98
Ca K	0.10	0.04
Cu K	2.25	0.51
Zn K	1.60	0.35
Totals	100.00	



Spectrum processing :
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed
(Normalised)
Number of iterations = 5

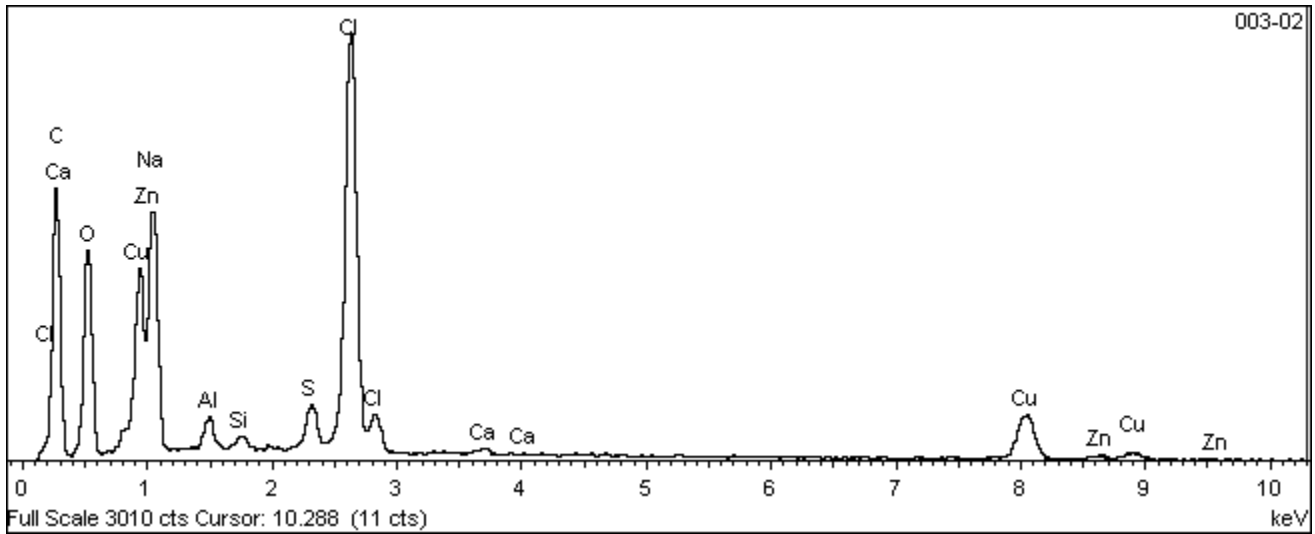
Quantitative results



Standard :

C CaCO₃ 1-Jun-1999 12:00 AM
O SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
Na Albite 1-Jun-1999 12:00 AM
Al Al₂O₃ 1-Jun-1999 12:00 AM
Si SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
S FeS₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
Cl KCl 1-Jun-1999 12:00 AM
Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM
Cu Cu 1-Jun-1999 12:00 AM
Zn Zn 1-Jun-1999 12:00 AM

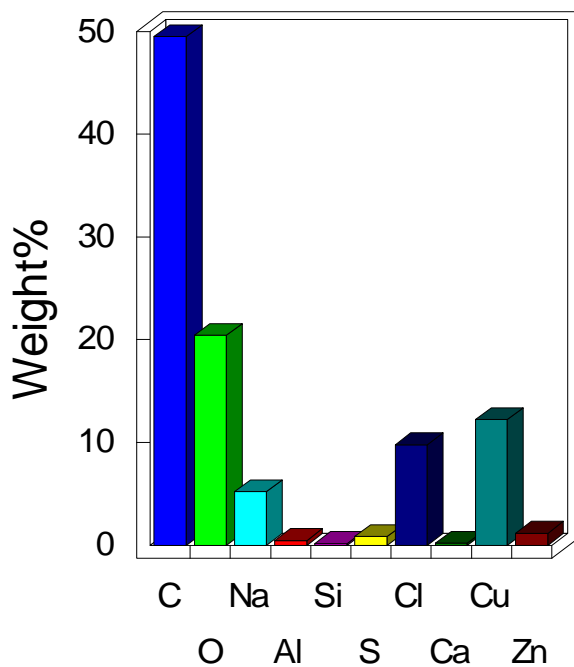
Element	Weight%	Atomic%
C K	48.81	66.46
O K	19.15	19.57
Na K	6.62	4.71
Al K	0.21	0.13
Si K	0.42	0.24
S K	0.71	0.36
Cl K	11.34	5.23
Ca K	0.20	0.08
Cu K	11.41	2.94
Zn K	1.14	0.28
Totals	100.00	



Spectrum processing :
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed
(Normalised)
Number of iterations = 5

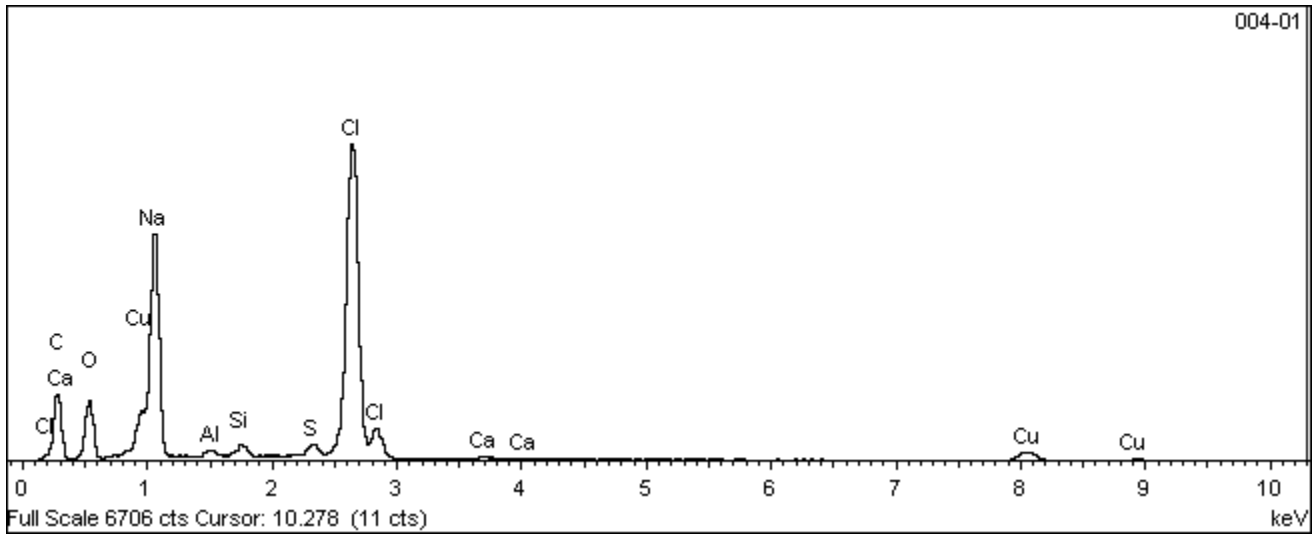
Quantitative results



Standard :

C CaCO₃ 1-Jun-1999 12:00 AM
O SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
Na Albite 1-Jun-1999 12:00 AM
Al Al₂O₃ 1-Jun-1999 12:00 AM
Si SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
S FeS₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
Cl KCl 1-Jun-1999 12:00 AM
Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM
Cu Cu 1-Jun-1999 12:00 AM
Zn Zn 1-Jun-1999 12:00 AM

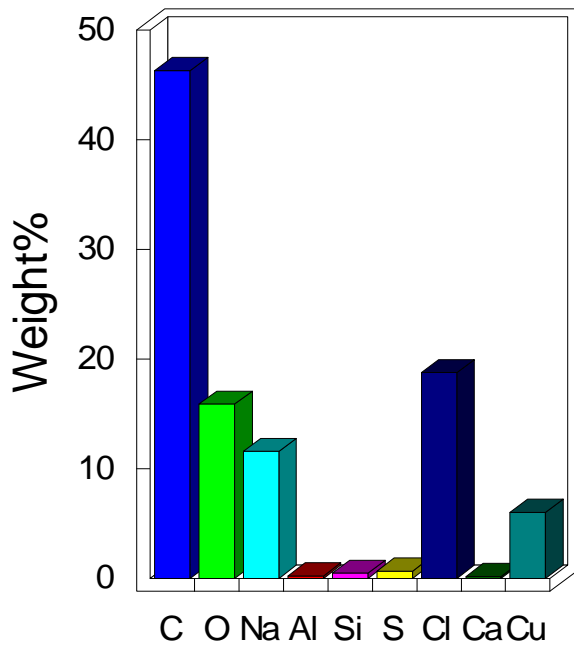
Element	Weight%	Atomic%
C K	49.48	66.83
O K	20.43	20.72
Na K	5.20	3.67
Al K	0.47	0.28
Si K	0.18	0.10
S K	0.86	0.43
Cl K	9.77	4.47
Ca K	0.19	0.08
Cu K	12.23	3.12
Zn K	1.18	0.29
Totals	100.00	



Spectrum processing :
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed
(Normalised)
Number of iterations = 5

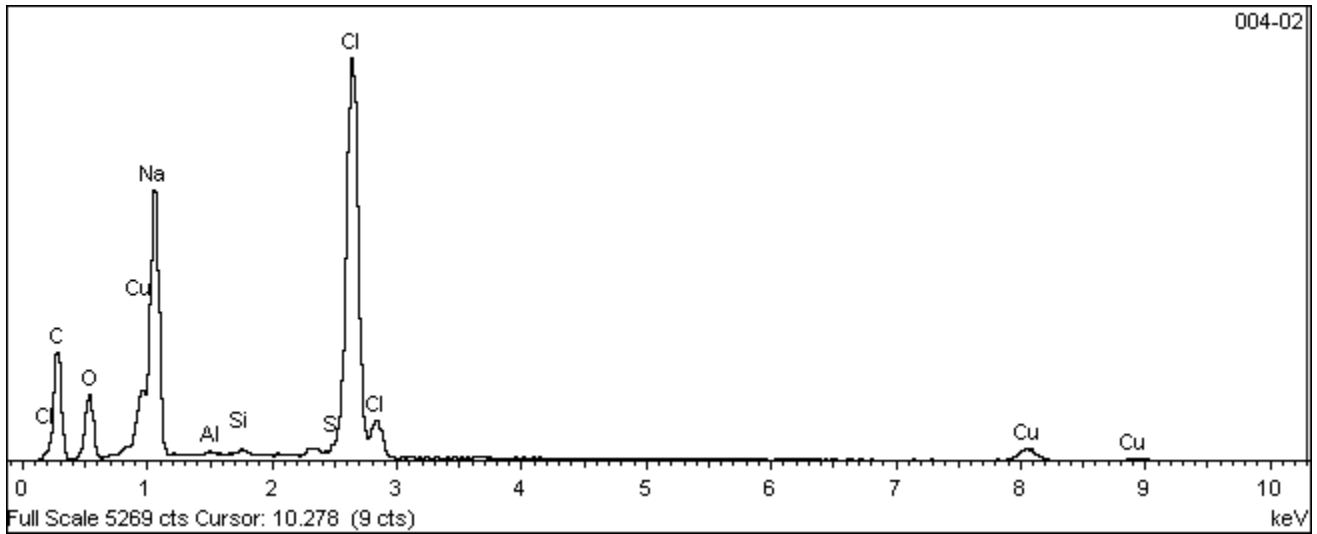
Quantitative results



Standard :

C CaCO₃ 1-Jun-1999 12:00 AM
O SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
Na Albite 1-Jun-1999 12:00 AM
Al Al₂O₃ 1-Jun-1999 12:00 AM
Si SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
S FeS₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
Cl KCl 1-Jun-1999 12:00 AM
Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM
Cu Cu 1-Jun-1999 12:00 AM

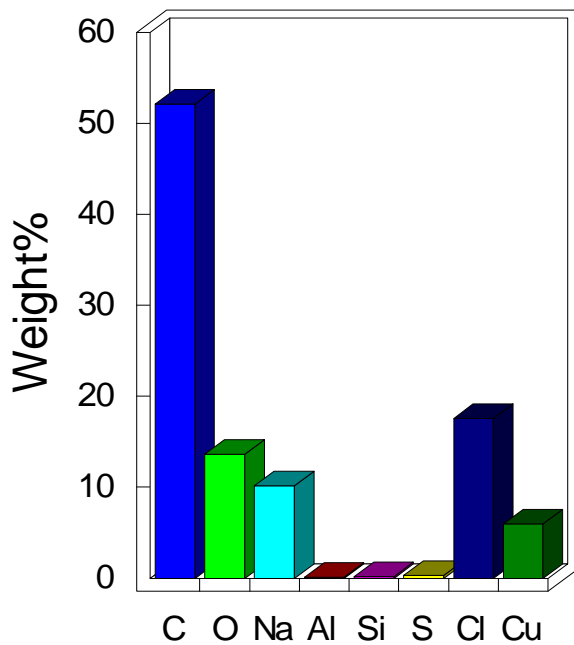
Element	Weight%	Atomic%
C K	46.29	63.99
O K	15.89	16.49
Na K	11.58	8.36
Al K	0.23	0.14
Si K	0.45	0.27
S K	0.65	0.34
Cl K	18.75	8.78
Ca K	0.15	0.06
Cu K	6.01	1.57
Totals	100.00	



Spectrum processing :
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed
(Normalised)
Number of iterations = 5

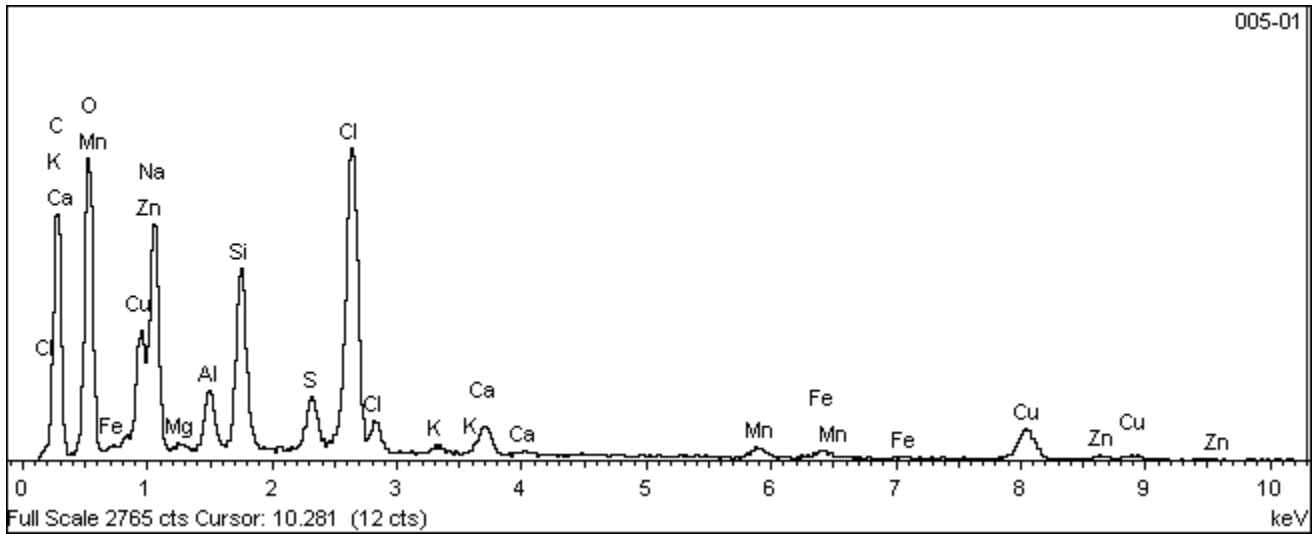
Quantitative results



Standard :

C CaCO₃ 1-Jun-1999 12:00 AM
O SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
Na Albite 1-Jun-1999 12:00 AM
Al Al₂O₃ 1-Jun-1999 12:00 AM
Si SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
S FeS₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
Cl KCl 1-Jun-1999 12:00 AM
Cu Cu 1-Jun-1999 12:00 AM

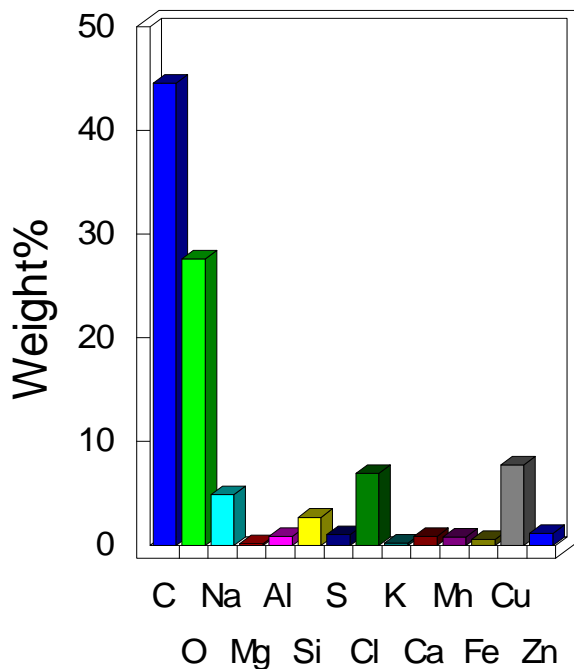
Element	Weight%	Atomic%
C K	52.15	69.54
O K	13.63	13.64
Na K	10.17	7.09
Al K	0.08	0.05
Si K	0.14	0.08
S K	0.30	0.15
Cl K	17.58	7.94
Cu K	5.94	1.50
Totals	100.00	



Spectrum processing :
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed
(Normalised)
Number of iterations = 5

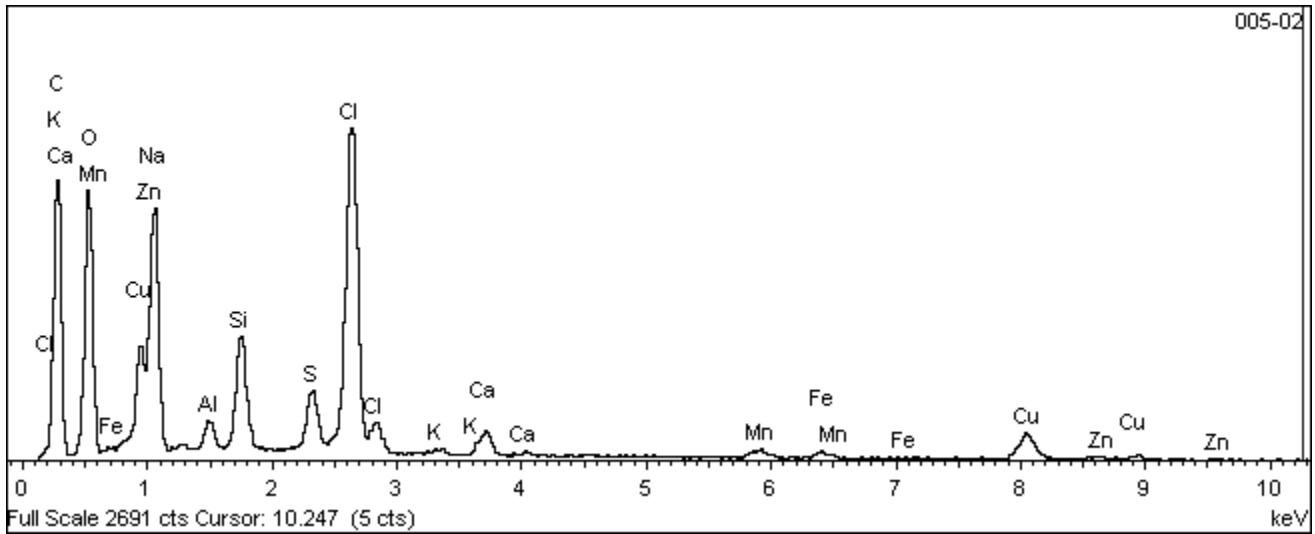
Quantitative results



Standard :

C CaCO₃ 1-Jun-1999 12:00 AM
O SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
Na Albite 1-Jun-1999 12:00 AM
Mg MgO 1-Jun-1999 12:00 AM
Al Al₂O₃ 1-Jun-1999 12:00 AM
Si SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
S FeS₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
Cl KCl 1-Jun-1999 12:00 AM
K MAD-10 Feldspar 1-Jun-1999 12:00 AM
Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM
Mn Mn 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
Cu Cu 1-Jun-1999 12:00 AM
Zn Zn 1-Jun-1999 12:00 AM

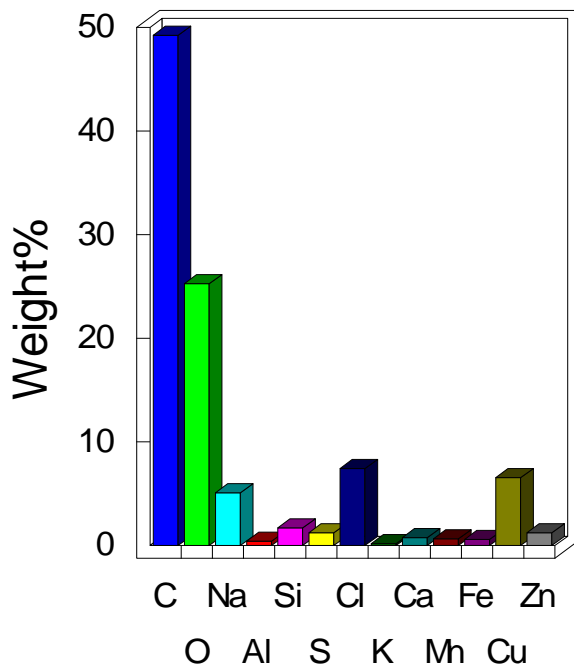
Element	Weight%	Atomic%
C K	44.57	59.85
O K	27.62	27.85
Na K	4.89	3.43
Mg K	0.13	0.08
Al K	0.83	0.50
Si K	2.69	1.55
S K	1.01	0.51
Cl K	6.93	3.15
K K	0.19	0.08
Ca K	0.87	0.35
Mn K	0.81	0.24
Fe K	0.58	0.17
Cu K	7.75	1.97
Zn K	1.13	0.28
Totals	100.00	



Spectrum processing :
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed
(Normalised)
Number of iterations = 5

Quantitative results



Standard :

C CaCO₃ 1-Jun-1999 12:00 AM
O SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
Na Albite 1-Jun-1999 12:00 AM
Al Al₂O₃ 1-Jun-1999 12:00 AM
Si SiO₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
S FeS₂ 1-Jun-1999 12:00 AM
Cl KCl 1-Jun-1999 12:00 AM
K MAD-10 Feldspar 1-Jun-1999 12:00 AM
Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM
Mn Mn 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
Cu Cu 1-Jun-1999 12:00 AM
Zn Zn 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
C K	49.25	64.23
O K	25.24	24.71
Na K	5.09	3.47
Al K	0.41	0.24
Si K	1.67	0.93
S K	1.19	0.58
Cl K	7.41	3.28
K K	0.15	0.06
Ca K	0.73	0.28
Mn K	0.60	0.17
Fe K	0.57	0.16
Cu K	6.51	1.60
Zn K	1.20	0.29
Totals	100.00	

ANEXOS

Anexo I – Publicações geradas por este trabalho

Artigos completos publicados em periódicos

KLEPA, ROGÉRIO BONETTE; MEDEIROS, MÁGILLA FEITOSA ; FRANCO, M. A. C. ; TAMBERG, EDGAR TIVELLI ; MICHEL DE BRITO FARIAS, THIAGO ; PASCHOALIN FILHO, JOÃO ALEXANDRE ; BERSSANETI, FERNANDO TOBAL ; CURVELO SANTANA, JOSÉ CARLOS . Reuse of construction waste to produce thermoluminescent sensor for use in highway traffic control. JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION ^{JCR}, v. 209, p. 250-258, 2019.

MIRANDA, A.C. ; PRAZERES, K. C. ; KLEPA, R. B. ; FRANCO, M. A. C. ; SILVA FILHO, S. C. ; SANTANA, J. C. C. . Avaliação do conhecimento dos consumidores de cidades da grande sp, sobre os impactos causados pelo descarte incorreto de medicamentos. INTERCIENCIA ^{JCR}, v. 43, p. 580-584, 2018.

OLIVEIRA, D. E. P. ; MIRANDA, A.C. ; KLEPA, R. B. ; FRANCO, M. A. C. ; SILVA FILHO, S. C. ; SANTANA, J. C. C. Análise do potencial da produção de energia a partir da incineração de resíduos sólidos urbanos na cidade de são paulo ,. INTERCIENCIA ^{JCR}, v. 43, p. 1-7, 2018.

MEDEIROS, M. F.; FRANCO, M. A. C.; KLEPA, R. B.; SANTANA, J. C. C. Viabilidade econômica de mantas térmicas, produzidas a partir de resíduos de asfalto, para revestimento de telhados. Materia-Rio de Janeiro ^{JCR}, 2019.

Patentes e registros

KLEPA, R. B.; FARIAS, T. M. B. ; SANTANA, J. C. C. MATERIAL COM ALTA CAPACIDADE REFLEXIVA A PARTIR DE RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL. 2017, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR10201700334, título: "MATERIAL COM ALTA CAPACIDADE REFLEXIVA A PARTIR DE RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL", Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Depósito: 20/02/2017.

Patente em fase de depósito

KLEPA, R. B.; SANTANA, J. C. C. MATERIAL ABSORTIVO APLICADO NA CONSTRUÇÃO DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS A PARTIR DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL. 2019.

Capítulos de livros publicados

KLEPA, R. B.; PRAZERES, K. C.; SILVA, T. A. F.; SANTANA, J. C. C. Comparação entre os módulos de células fotovoltaicas classificados pelas normas Brasileiras. Sustentabilidade e responsabilidade Social, Editora Poisson, v. 2. 1ª edição, 269p., 2017.

Trabalhos completos publicados em anais de congressos

KLEPA, R. B.; MIRANDA, A.C. ; SILVA FILHO, S. C. ; SILVA, T. A. F. . ESTUDO EMPÍRICO DO DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA EM INSTALAÇÃO PREDIAL. In: ENEGEP XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2018, 2018, Maceió. ENEGEP XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2018. Maceió: ENEGEP,v.1, 2018.

KLEPA, R. B.; MEDEIROS, M. F. ; FARIAS, T. M. B. ; SANTANA, J. C. C. . VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SENSOR TERMOLUMINESCENTE PRODUZIDO A PARTIR DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.. In: XXIV SIMPEP SIMPOSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2017, Bauru -SP. CONTRIBUIÇÕES DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO PARA UMA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO. Bauru -SP: SIMPEP, v. 1, 2017.

KLEPA, R. B.; MIRANDA, A.C. ; SOUZA, R. R. ; MATOS, J. S. ; SANTANA, J. C. C. . CONTABILIDADE DE CUSTOS AMBIENTAIS E SEUS BENEFÍCIOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL APLICADO COMO ESTRATÉGIA EM UMA INDÚSTRIA CERÂMICA. In: XII Congresso Nacional de Excelência em Gestão & III

INOVARSE, 2016, Rio de Janeiro - RJ. Anais do CNEG 2016 & III INOVARSE. Rio de Janeiro - RJ: FIRJAN, v. 1. p. 1-12, 2016.

KLEPA, R. B.; PRAZERES, K. C. ; SILVA, T. A. F. ; SANTANA, J. C. C. . Comparação entre os Módulos de Células Fotovoltaicas classificados pelas Normas Brasileiras. In: XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP 2016, João Pessoa - PB. Anais do ENEGEP 2016. Rio de Janeiro - RJ:: ABEPRO, v. 1. p. 1-10, 2016.

Apresentações de Trabalho

KLEPA, R. B.; MIRANDA, A.C. ; SOUZA, R. R. ; MATOS, J. S. ; SANTANA, J. C. C. . CONTABILIDADE DE CUSTOS AMBIENTAIS E SEUS BENEFÍCIOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL APLICADO COMO ESTRATÉGIA EM UMA INDÚSTRIA CERÂMICA. In: XII Congresso Nacional de Excelência em Gestão & III INOVARSE, 2016, Rio de Janeiro - RJ.