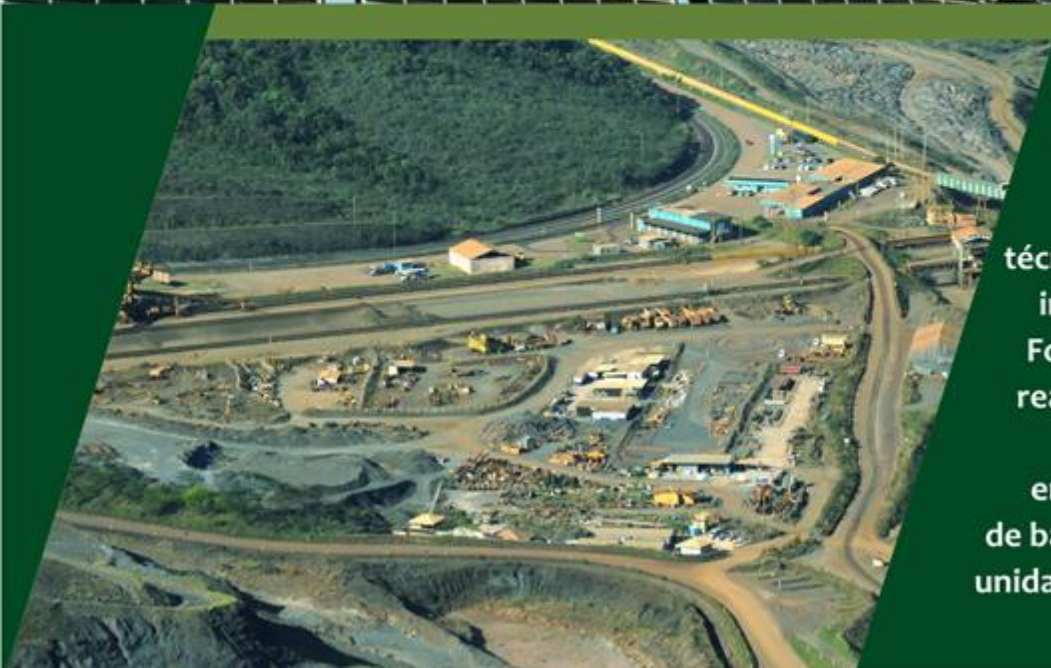




**Análise de pré-viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de uma Usina Solar Fotovoltaica em consórcio com a reabilitação de áreas degradadas.**



## **Relatório 1**

**Estudo de pré-viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de uma Usina Solar Fotovoltaica em consórcio com a reabilitação de áreas degradadas, em uma área de lixão e outra em área já minerada, que servirá de base para implantação de dessas unidades no estado de Minas Gerais.**







# ANÁLISE DE PRÉ-VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DA IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA EM CONSÓRCIO COM A REABILITAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS



Belo Horizonte  
2016



## FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE

### Governo do Estado de Minas Gerais

Fernando Damata Pimentel - Governador

### Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD

Jairo José Isaac - Secretário

### Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM

Germano Luiz Gomes Vieira – Presidente em exercício

### Diretoria de Instrumentos de Gestão e Planejamento Ambiental - DIPA

Antônio Henrique dos Santos - Diretor

### Pesquisador

Wemerson Rocha Ferreira

### Orientador

Wilson Pereira Barbosa Filho

### Revisão

Abílio César Soares de Azevedo

Elisa Meira Bastos

Lívia Maria Leite da Silva

Wilson Pereira Barbosa Filho

F981e Fundação Estadual do Meio Ambiente.

Análise de pré - viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de uma usina solar fotovoltaica em consórcio com a reabilitação de áreas degradadas. --- Belo Horizonte: FEAM, 2016.

164 p.; il.

1. Energia solar. 2. Usina solar fotovoltaica. 3. Impacto ambiental. 4. Áreas degradadas - reabilitação. I. Título.

CDU: 620.92:504.05





## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo patrocínio e apoio financeiro na realização deste projeto, bem como à Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) pelo apoio e suporte técnico/administrativo que propiciaram o desenvolvimento e conclusão efetivos deste relatório.





## RESUMO

Na última metade de século XX foi verificado, nos países em desenvolvimento, um processo de urbanização que resultou em grandes concentrações populacionais em um número reduzido de cidades, agravando o uso de espaços públicos, da mobilidade urbana e do desnível de renda. Além disso, é de se destacar que dois terços do consumo mundial de energia ocorrem nas cidades. Desta forma, falar em mudanças climáticas, aquecimento global, energias renováveis e planejamento urbano, também é falar em cidades sustentáveis. Neste contexto, esse estudo tem como escopo discutir a possibilidade, dentro de um planejamento urbano sustentável, da implantação de usinas solares fotovoltaicas em áreas degradadas em consórcio com a prática de reabilitação, contribuindo, assim, com o fomento do uso de energias renováveis nas matrizes energéticas nacional, estadual e regional. Para tanto, este relatório permeia por uma definição de conceitos referentes ao tema, e uma análise dos possíveis gargalos, bem como o custo, as formas de regulamentação do mercado econômico energético nacional e os potenciais impactos ambientais deste tipo de empreendimento. Tal discussão é pertinente frente ao momento atual, em que o país passa por risco energético e aumento das tarifas de energia, que é decorrente do uso de centrais termelétricas movidas a combustíveis fósseis.

**Palavras-chave:** *Usina Solar Fotovoltaica, Impactos Ambientais, Reabilitação de Áreas Degradadas, Diversificação da Matriz Elétrica.*





## SIGLAS, ACRÔNIMOS E CONVENÇÕES UTILIZADAS NESTE DOCUMENTO

AAF - Autorização Ambiental de Funcionamento

ABINEE - Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACL - Ambiente de Contratação Livre

ACR - Ambiente de Contratação Regulada

ACV - Avaliação do Ciclo de Vida

AHP - Analytic Hierarchy Process (Método de Análise Hierárquica)

AM0 - Massa de Ar de 0

AM1.5G - Massa de Ar de 1,5

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

BIG - Banco de Informações de Geração

CCEAR - Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulador

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

CdTe - Telureto de Cádmio

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais

CGH – Central Geradora Hidrelétrica

CIGRÉ – Conseil International des Grands Réseaux Electriques (Conselho Internacional de Grandes Redes Elétricas)

CIGS - Silício monocristalino, Silício policristalino, Silício amorfo, Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio

CO - Monóxido de Carbono





CO<sub>2</sub> - Dióxido de

Copam – Conselho Estadual de Política Ambiental

DER - Departamento de Estradas de Rodagem

DPCA - Distributed Power of America Coalition (Coalização Americana de Distribuição de Energia Elétrica)

EIA - Estudo de Impacto Ambiental

EPBT - Energy Pay Back Time (Tempo de retorno de investimento em energia)

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

EPRI - Electric Power Research Institute (Instituto de Pesquisas em Energia Elétrica)

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente

G - Irradiância Solar

G<sub>b</sub> - Irradiância direta

GD - Geração Distribuída

G<sub>dif</sub> - Irradiância difusa

GEE - Gases de efeito estufa

G<sub>refl</sub> - Irradiância refletida

IC - Índice de Consistência

IEA - International Energy Agency (Agência Internacional de Energia)

IR - Índice Randômico

ISO - International Standardization Organization (Organização Internacional de Padronizações)

LFA - Leilões de Fontes Alternativas







LP - Licença Prévia

NO<sub>2</sub> - Dióxido de Nitrogênio

O<sub>3</sub> - Ozônio

PCA - Plano de Controle Ambiental

PCH - Pequenas Centrais Hidrelétricas

PI - Partículas Inaláveis

PIB - Produto interno bruto

PMER – Programa Mineiro de Energias Renováveis

PRODEEM - Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios

PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas

PTS - Partículas Totais em Suspensão

RCA – Relatório de Controle Ambiental

RIMA - Relatório de Impacto Ambiental

SEB - Setor Elétrico Brasileiro

SEMAD - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

SIN - Sistema Interligado Nacional

SISEMA - Sistema Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

SO<sub>2</sub> - Dióxido de Enxofre

TCU - Tribunal de Contas da União

UHE - Usinas Hidrelétricas

ZEE - Zoneamento Ecológico Econômico do Estado de Minas Gerais





## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Irradiação média mundial anual em plano horizontal (kWh/m <sup>2</sup> -dia) ..	31
Figura 2: Espectro Solar de Referência ASTM G173-03.....	32
Figura 3: Radiação difusa, direta e refletida pela superfície (albedo).....	33
Figura 4: Diagrama simbólico dos processos de interação da radiação solar com a atmosfera terrestre. ....	34
Figura 5: Aproveitamentos da Energia Solar.....	35
Figura 6:Atlas Brasileiro de Energia Solar.....	36
Figura 7: Radiação solar média diária anual em Minas Gerais .....	38
Figura 8: Coletor Solar .....	42
Figura 9: Classificação dos Concentradores Solares .....	45
Figura 10: Torre Solar. ....	47
Figura 11: Canal Parabólico.....	48
Figura 12: Refletor Linear Fresnel.....	49
Figura 13: Sistema de Discos Parabólicos.....	51
Figura 14: Representação das bandas de valência, condução, e band-gap....	53
Figura 15: Efeito fotovoltaico na Junção PN.....	53
Figura 16: Classificação das gerações de tecnologias fotovoltaicas.....	54
Figura 17: Módulo Fotovoltaico de silício monocristalinos. ....	56
Figura 18: Módulo Fotovoltaico de silício policristalinos.....	57
Figura 19: Módulo Fotovoltaico de Filme Fino de silício amorfo.....	58
Figura 20: “Módulo Fotovoltaico” de Filme Fino. ....	58
Figura 21: Concentrador Solar Fotovoltaico.....	61
Figura 22: Célula solar do tipo OPV. ....	62
Figura 23: Célula solar do tipo DSSC.....	63
Figura 24: Célula solar do tipo QD .....	64
Figura 25: Conexão de células fotovoltaicas.....	67
Figura 26: Classificação dos módulos fotovoltaicos. ....	68
Figura 27: Produção mundial de células fotovoltaicas em GW. ....	76
Figura 28: Ambientes de contratação.....	79
Figura 29: Contratação regular das Distribuidoras no ACR. ....	81
Figura 30: Fatores de potencialidade social.....	88





Figura 31: Áreas promissoras em Minas para empreendimentos solares.....	90
Figura 32: Mapa de Minas Gerais com camadas de categorias do ZEE.....	91
Figura 33: Pesos obtidos para o estudo de aspectos econômicos.....	99
Figura 34: Ciclo de Vida básico da atividade minerária.....	109
Figura 35: Desativação de minas .....	110
Figura 36: Diferenças entre os processos de restauração, recuperação e reabilitação de áreas degradadas .....	112





## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Status de concessão de LPs em Minas Gerais (novembro/2015)....	39
Tabela 2: Diferença entre os ambientes de contratação. ....	78
Tabela 3: Potencial fotovoltaico em telhados residenciais no Brasil .....	84
Tabela 4: Tipos de potencialidades .....	92
Tabela 5: Valores de IR para matrizes quadradas de ordem n. ....	94
Tabela 6: Escala Fundamental de Saaty.....	94
Tabela 7: Matriz de comparação 1 .....	96
Tabela 8: Matriz de comparação 2.....	96
Tabela 9: Cálculo de $A_w$ . ....	97
Tabela 10: Matriz de componente produção .....	98
Tabela 11: Matriz de componente institucional .....	98
Tabela 12: Matriz de componente humano .....	98
Tabela 13: Matriz de componente natural .....	98
Tabela 14: Pontuação de cada área .....	99
Tabela 15: Situação de Tratamento e/ou Disposição Final dos RSUs em Minas Gerais - 2014.....	104
Tabela 16: Valor da energia cobrada das unidades consumidoras residenciais em 2015, descontados os impostos ICMS, PIS/PASEP e COFINS. ....	139
Tabela 17: Valor de sistemas de geração fotovoltaica em outubro de 2015, inclusos os impostos ICMS, PIS/PASEP e COFINS. ....	141
Tabela 18: Orçamento sistema 306 kWp, em outubro de 2015. ....	142
Tabela 19: Orçamento sistema 102 kWp, em outubro de 2015. ....	143
Tabela 20: Composição do sistema de geração fotovoltaica de 1MWp em outubro de 2015, descontados os impostos ICMS, PIS/PASEP e COFINS... ..	143
Tabela 21: Custo total do empreendimento em 30 anos.....	144







## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	12
1.1. Objetivos .....	13
1.1.1. Objetivo Geral .....	13
1.1.2. Objetivos Específicos .....	14
1.2. Justificativas e relevância do Projeto .....	14
2. GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .....	16
2.1. Geração Centralizada .....	17
2.2. Geração Distribuída .....	21
3. POTENCIAL DE GERAÇÃO SOLAR .....	29
3.1. O Sol e sua Energia .....	29
3.2. Aspectos da Energia proveniente do Sol e sua importância para as conversões fotovoltaicas .....	30
3.3. Potencial de irradiação solar no Brasil .....	35
3.4. Potencial de radiação solar em Minas Gerais .....	37
4. ASPECTOS TÉCNICOS DOS SISTEMAS SOLARES DE CONVERSÃO DE ENERGIA .....	41
4.1. Geração de calor .....	41
4.2. Geração de eletricidade .....	43
4.2.1. Sistemas Heliotérmicos .....	43
4.2.1.1. Sistemas de Torre de Concentração Solar .....	46
4.2.1.2. Sistemas de Cilindro ou Canal Parabólico .....	47
4.2.1.3. Refletor Linear Fresnel .....	49
4.2.1.4. Sistemas de Disco Parabólico .....	50
4.2.2. Sistemas Fotovoltaicos .....	51
4.2.2.1. Os tipos de Geradores Fotovoltaicos .....	54





4.2.2.1.1. Silício Cristalino .....	55
4.2.2.1.2. Filmes Finos Inorgânicos.....	57
4.2.2.1.3. Concentradores Solares Fotovoltaicos (CPV) .....	59
4.2.2.1.4. Células Orgânicas e Inorgânicas.....	61
4.2.2.2. Componentes de Sistemas de geração Fotovoltaicos .....	66
4.2.2.2.1. Módulos/painéis fotovoltaicos.....	66
4.2.2.2.2. Caixa de junção.....	69
4.2.2.2.3. Inversores .....	70
4.2.2.2.4. Cabos .....	71
4.2.2.2.5. Equipamentos de segurança e proteção .....	73
4.2.2.3. Estado da Arte.....	74
5. MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	77
5.1. Ambientes de contratação de Energia .....	77
5.2. Os Leilões de Energia .....	79
5.3. Garantia Física e Modalidade de Contrato .....	81
5.3.1. Requisitos para habilitação técnica .....	82
5.4. Características do Mercado Energético do estado de Minas Gerais.....	83
5.5. Arcabouço Jurídico.....	85
6. ESCOLHA DA MELHOR ÁREA EM TERMOS DE SUSTENTABILIDADE ..	88
6.1. Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) do Estado de Minas Gerais.....	91
6.2. Metodologia AHP .....	93
6.3. Aplicação da Metodologia AHP com os dados do ZEE .....	95
7. MEIO AMBIENTE .....	101
7.1. Degradação Ambiental.....	102
7.1.1. Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).....	103
7.1.2. Atividades Minerárias .....	107





7.1.3. Formas de reparação à degradação ambiental.....	112
7.2. Implantação de usinas solares fotovoltaicas e seus impactos .....	114
7.2.1. Principais impactos sobre o meio físico.....	115
7.2.2. Principais impactos sobre o meio biótico.....	122
7.2.3. Principais impactos sobre o meio socioeconômico .....	128
7.3. Análise de Ciclo de Vida (ACV).....	135
8. CUSTOS E VIABILIDADE ECONÔMICA.....	138
9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	146
REFERÊNCIAS.....	148









## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento das cidades, com elevada concentração populacional e expansão das áreas urbanas, associado à industrialização e ao alto consumo de bens e serviços, são fatores que têm contribuído para a formação de um cenário urbano com muitos impactos sociais e ambientais, consequência do atual modelo de produção e consumo (ICLEI, 2014). O planejamento urbano tem que ser pensado de forma diferente, para atender aos novos anseios da sociedade em crise com o atual contexto. Um novo arranjo de desenvolvimento sustentável deve ser pensado e efetivado, considerando indissociáveis os fatores social, econômico e ambiental.

O avanço da demografia brasileira, aliado à urbanização crescente e, por vezes, desordenada da população, traz consigo diversos problemas ambientais, sociais e econômicos. Uma grande questão advinda deste contexto é a quantidade alarmante de lixo, bem como sua adequada disposição e tratamento. Grande parte dos municípios do Brasil ainda não possui coleta e disposição final adequada dos resíduos urbanos, sendo que ainda existem muitos lixões. Aos poucos, os aterros sanitários vêm sendo implantados e regulamentados gradativamente, sendo suas áreas finais de grande potencial de reabilitação. Outro problema enfrentado por muitos estados e municípios é a questão da degradação causada por atividades de lavras e de mineração. É fato que, muitas mineradoras acabam por não recuperarem de forma adequada suas cavas, lagos de contenção e outras áreas afetadas por suas atividades. Sem falar quando simplesmente ocorre o abandono destas áreas degradadas.

Tendo em vista tais problemas, comuns em muitos dos centros urbanos atuais, esse estudo visa propor um mecanismo para reabilitação de áreas degradadas associado ao aproveitamento da energia solar. Introduz-se dessa forma, uma nova atividade ao local, que contempla o fomento de um novo cenário energético, que é o da geração de energia elétrica por meio de fontes alternativas, no caso, usinas solares fotovoltaicas em diferentes portes, ou seja, micro, pequenas, médias e grandes usinas. Para tanto, este estudo aborda em sua primeira parte, definições de conceitos relevantes referentes ao tema, e,



em seguida, uma análise dos possíveis gargalos, como o custo e as formas de regulamentação do mercado econômico-energético.

Do ponto de vista estratégico, o Brasil possui uma série de características naturais favoráveis à exploração da energia solar fotovoltaica, tais como, altos níveis de insolação, sendo que a irradiação média anual apresenta valores que são significativamente superiores à maioria dos países europeus (EPE, 2012), e grandes reservas de quartzo de qualidade, material usado na fabricação dos painéis, o que pode gerar importante vantagem competitiva para a produção de silício com alto grau de pureza, células e módulos solares, produtos estes de alto valor agregado. Tais fatores potencializam a atração de investidores e o desenvolvimento de um mercado interno, permitindo que se vislumbre um papel importante na matriz elétrica para este tipo de tecnologia.

### 1.1. Objetivos

A Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM, do Estado de Minas Gerais, com base na Lei Delegada nº. 156, de 25 de janeiro de 2007, regulamentada pelo Decreto 44819/2008 teve sua atribuição executiva no licenciamento ambiental transferida para unidades descentralizadas do Sistema Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SISEMA, passando a atuar com ênfase nas estratégias de busca de melhoria de qualidade ambiental e sustentabilidade do Estado, que abarca inclusive o tema Energia. Desta forma, os objetivos deste estudo absorvem a essência do escopo de trabalho atual da FEAM.

#### 1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo deste Estudo visa à apresentação do estado da arte das tecnologias de geração fotovoltaica, bem como a avaliação da pré-viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de uma usina solar fotovoltaica para fins de geração de energia elétrica, em consórcio com a reabilitação de

áreas degradadas, contemplando um município do estado de Minas Gerais para proposição de um projeto piloto.

### 1.1.2. *Objetivos Específicos*

Os objetivos específicos deste projeto são:

- Apresentar o modelo de geração atual bem como os sistemas de geração mais adequados às tecnologias fotovoltaicas;
- Apresentar o potencial solar fotovoltaico do Brasil e do estado de Minas Gerais;
- Obter dados atualizados sobre o estado da arte das tecnologias de geração de energia elétrica por fonte fotovoltaica;
- Apresentar uma metodologia para seleção de potenciais áreas para implantação de usinas solares fotovoltaicas no Estado de Minas Gerais, dentro do conceito de desenvolvimento sustentável;
- Levantar dados de possíveis e potenciais impactos ambientais para empreendimentos de usinas solares fotovoltaicas;
- Analisar e propor políticas públicas para fomento ao desenvolvimento e implantação de sistemas fotovoltaicos no Estado de Minas Gerais.


## 1.2. **Justificativas e relevância do Projeto**

O Brasil apresenta um dos maiores índices de radiação solar do mundo. A maior parte do território nacional se localiza próximo à linha do Equador, não apresentando assim grandes variações de radiação solar ao longo do dia. Esse fato, aliado a atual escassez de energia nacional, cuja matriz energética é baseada nas grandes Usinas Hidrelétricas e nas Termoelétricas abastecidas a combustíveis fósseis, serve de grande motivação para que se busquem alternativas energéticas de cunho renovável, como o caso da solar.


Segundo a Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG, para sistemas fotovoltaicos planos (sem dispositivos de concentração) o requisito de









radiação solar são valores acima de 2.000 kWh/m<sup>2</sup>.ano, ou seja, 5,5 kWh/m<sup>2</sup>.dia (valor média diário anual) (CEMIG, 2012), valores esses, um pouco acima do que usualmente se aplica à elaboração de estudos de viabilidade de instalação de centrais termoelétricas ou fotovoltaicas em escala mundial.



Nesse contexto, a FEAM, entidade integrante do SISEMA, apresenta neste documento uma análise de pré-viabilidade técnica, econômica e ambiental, dentro de um planejamento urbano e rural sustentável, para implantação de usinas solares fotovoltaicas em áreas degradadas em consórcio com a prática de reabilitação visando gerar energia elétrica por meio de uma fonte renovável, no caso, com uso de placas solares fotovoltaicas, reaproveitando um local que já tenha sofrido algum tipo de impacto ambiental como áreas mineradas, contaminadas, aterros sanitários e lixões desativados ou em processo de desativação, entre outros. A análise de implantação de projeto piloto no Estado de Minas Gerais poderá influenciar empresas e prefeituras a recuperar áreas degradadas com retorno econômico, por meio da compensação de energia ou venda em leilões.



O fomento à inserção da energia solar fotovoltaica na matriz energética nacional, estadual e regional pode contribuir para a redução dos níveis de poluição e do aquecimento global. Além de estar ligada ao contexto de geração distribuída – GD -, que, embora tenha apresentado diferentes conceitos no meio acadêmico-científico, essencialmente evidencia alguns pontos em comum, como: localização próxima da região de consumo; produção em pequena escala, e incentivo ao uso de recursos renováveis disponíveis localmente. Os recursos energéticos distribuídos podem e devem contribuir na redução das emissões de gases de efeito estufa – GEEs - e para mitigar a mudança climática, permitindo a redução das necessidades de grandes instalações de geração de cargas e extensas linhas de transmissão, o que diminui as perdas de energia e o impacto ambiental gerado por essas construções, tendo como contrapartida a otimização do uso de novas tecnologias.



## 2. GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

O funcionamento dos sistemas elétricos de potência trata-se de um processo bem complexo e envolve muito mais do que apenas enviar a energia pela rede elétrica. Com efeito, durante todo o caminho é preciso transformar, transmitir e distribuir a energia elétrica dentro de rigorosos padrões de qualidade e segurança. Todavia, antes de entrar em detalhes das áreas que compõem um sistema de energia, recomenda-se analisar algumas das razões pelas quais a energia elétrica é considerada um elemento crucial na sociedade atual.

A energia elétrica é uma energia secundária, ou seja, é um produto energético resultante de conversões energéticas ocorridas em diferentes centros de transformação dos recursos primários, tendo como destino os diversos setores de consumo e, eventualmente, outros centros de transformação. A energia primária, por sua vez, trata-se de produtos energéticos providos pela natureza e passíveis de utilização imediata, como a energia solar, eólica e hidráulica (potencial e cinética), dentre outras (REIS, 2011).

Em primeira instância, a energia elétrica é a que apresenta a forma mais simples de transmissão quando comparada à grande maioria. No SIN, basicamente consiste em elevar a tensão nos centros geradores de forma a obter um nível com menores perdas e com um custo aceitável e depois da chegada aos centros consumidores realizar uma segunda transformação da tensão para níveis mais adequados à distribuição de energia. Por ser um processo relativamente simples e de poucos riscos quando comparado às outras formas de transmissão de energia, gerou-se um grande erro na sociedade de supor que a energia é um bem a disposição a tempo e à hora. Apenas nos tempos atuais é que tem havido uma concreta preocupação e atenção para com a iminente crise energética. Como e qual a melhor forma de usar a energia finalmente se tornou um assunto em pauta das sociedades no mundo todo.



Desta forma é preciso conhecer as formas de geração de energia elétrica, bem como suas fontes de energia primária, no intuito de provocar a crítica aos sistemas convencionais e a análise consciente dos modelos a serem aplicados de acordo com a realidade de cada país e/ou região.

## 2.1. Geração Centralizada

A atual forma de geração de energia elétrica é denominada por geração centralizada, pois se caracteriza pela existência de usinas de grande porte que estão limitadas a se instalarem em locais apropriados, próximas às fontes energéticas, como, por exemplo, próximas de rios, e distantes dos centros de carga (OLIVEIRA, 2010). Este tipo de geração constitui-se de centrais geradoras para a transformação da energia, como as grandes usinas hidrelétricas e termelétricas. Contudo, há diversos fatores que implicam em perdas, diminuindo a eficiência de todo o processo.

Historicamente, desde o princípio do processo de industrialização, no século XIX, até meados do século XX a geração de energia mais comum foi a descentralizada ou distribuída. Todavia, a partir da década de 1940, com o aumento das demandas e da concentração populacional em grandes centros urbanos, aliados às melhorias técnicas nos transformadores e nas linhas de transmissão e distribuição de energia, com tensões cada vez maiores, passou a ser possível transportar mais potência, o que, por consequência, também proporcionou o desenvolvimento de geradores com capacidade de produção de energia cada vez mais elevada, ocasionando a melhoria na eficiência e no rendimento dos processos de produção de energia (CRUZ, 2013).

Desta forma, constata-se que a geração centralizada, tendo como modelo centrais produtoras de grande porte, tornou-se mais barata, reduzindo o interesse pela geração distribuída e, como consequência, desacelerou-se o interesse e o incentivo ao desenvolvimento e evolução tecnológicos para este tipo de geração. Assim, naturalmente, os setores energéticos da grande maioria dos países passaram a ser caracterizados pelo modelo de geração



centralizada de energia, que passou a ser prática dominante ante a geração distribuída, propiciando grandes economias de escala. Desde então, na medida em que a população crescia, e com ela toda a infraestrutura para sustenta-la, o problema do abastecimento de energia elétrica da população passou a ser solucionado primordialmente pela construção de grandes usinas geradoras. Conforme informações de Cruz (2013) estima-se que, para o caso do Brasil, a cada 1% de aumento no PIB seja necessário acrescentar cerca de 1,2% da potência total disponibilizada pelo parque gerador. Para entender a magnitude desta situação, segundo o Banco de Informações de Geração – BIG - da ANEEL, atualizado em 10 de setembro de 2015, a geração brasileira era de aproximadamente 138.610.760 kW (cerca de 138,6 GW) (ANEEL, 2015). Pelas estimativas apresentadas, seriam 2.217.772 kW (cerca de 2,2 GW) acrescentados à nossa geração total para cada 1% PIB/ano. Como comparação, a UHE Santo Antônio, no rio Madeira (estado de Rondônia), tem uma potência fiscalizada associada de 2.286.080 kW (cerca de 2,2 GW) (ANEEL, 2015).

As grandes distâncias das centrais de geração até os centros de consumo tornaram necessárias, neste modelo de geração, a construção/instalação e uso de extensas linhas de transmissão e de sistemas de distribuição de energia elétrica muito complexos, com a finalidade de levar a energia aos consumidores finais. Com o crescimento das cidades, as linhas de subtransmissão e de distribuição também se multiplicaram (CRUZ, 2013).

É importante observar que este modelo de geração está fundamentado em grandes investimentos, estruturado em instalações de dimensões extensas, indivisíveis e quase inflexíveis, o que acaba por influenciar e ditar os modelos de exploração do setor elétrico, que, em muitos países, opera sob regimes de monopólio, resultantes da necessidade de expansão das redes elétricas ao maior número de usuários possível. Desta forma, neste tipo de ambiente não liberalizado, é vantajoso que a produção centralizada seja mantida, sob o pretexto das economias de escala, sendo a geração distribuída restringida a situações de sistemas isolados, onde o consumidor está distante das redes de distribuição e transmissão (OLIVEIRA, 2010).





Essa solução resolveu o equacionamento entre oferta e demanda até o fim do século XX, quando diversos fatores pressionaram a busca por formas diferentes de aumentar a oferta de energia. Os principais fatores que criaram o contexto para a busca de outras formas de abastecimento energético foram:

- Problemas como as crises do petróleo, iniciadas na década de 1970;
- Restrições ambientais associadas aos setores energéticos;
- Escassez de potenciais para a instalação de grandes empreendimentos energéticos;
- Extensos prazos para a construção dessas usinas;
- Os fortes impactos ambientais que grandes empreendimentos geralmente provocam;
- O grande endividamento que resulta da instalação de uma grande usina, o que a torna cada vez mais inviável.

Contudo, desde as crises do petróleo que começaram nos anos 70, este panorama tem passado por mudanças expressivas, contribuindo fortemente ao aparecimento da cogeração e, mais timidamente, de outras formas de produção de energia local e, conseqüentemente, distribuída (OLIVEIRA, 2010). Nos anos 90, devido às reestruturações do setor elétrico em diversos países, passou a existir competição no serviço de energia elétrica, o que estimulou a apresentação de custos competitivos por parte de todos os atores. Como resultado da transformação deste mercado, passaram a serem produzidos novos equipamentos, aumentando a atratividade da geração distribuída. Em alguns países, como Finlândia e Holanda, este tipo de produção ultrapassou 40% das demandas nacionais por eletricidade. Por vezes, a introdução desta produção, em boa parte dos países, é bastante lenta, pois a transformação do mercado dá-se a taxas reduzidas, por um lado, e, por outro, porque a produção centralizada exigiu fortes investimentos e estes têm de ser amortizados, o que dificulta a liberalização do setor e, portanto, a competição (GUEDES, 2013 & OLIVEIRA, 2010).





A geração de energia elétrica, em grandes quantidades para satisfazer as várias necessidades do consumo, tem ocorrido tradicionalmente por meio de grandes centrais elétricas, a saber:



- Usinas hidroelétricas;
- Usinas termelétricas de turbina a vapor;
- Usinas termelétricas de turbina a gás;
- Usinas termelétricas nucleares.

A maneira organizacional adotada pelo sistema elétrico brasileiro, e obedecida ao longo de sua história, consiste na geração centralizada. Assim, quando a demanda por energia aumenta, a resposta apresentada é um aumento da geração; porém quando a demanda excede os limites da capacidade do sistema, a solução adotada, por praxe, é a construção de novas unidades de geração, e por derivação o aumento de linhas de transmissão e distribuição dessa maior energia comercializada. Há, pois, o questionamento quanto a essa forma de planejar a expansão da oferta de eletricidade do setor elétrico brasileiro, aliada a introdução no mercado de novas tecnologias de geração distribuída, que reduzem significativamente o custo da energia produzida.



De acordo com a segunda edição do relatório “O Setor Elétrico Brasileiro e a Sustentabilidade no Século 21 – Oportunidades e Desafios”, é feita uma análise crítica da eficiência do modelo energético vigente com afirmações de que um quinto (20%) da energia produzida no país é desperdiçada durante a transmissão da energia até os centros de consumo, ao passo que no Chile elas não representam nem 6% e, na Europa correspondem a 7%. Tais perdas de energia chegam a causar um aumento de 5% na tarifa média paga pelo consumidor. A conta foi feita em 2007 pela auditoria do Tribunal de Contas da União - TCU (MOREIRA, 2012).




## 2.2. Geração Distribuída



A geração distribuída – GD – é entendida pelos setores energéticos mundiais como produção energética próxima ao consumo. É, pois, a denominação genérica de um tipo de geração de energia elétrica distinta da realizada de forma centralizada, por ocorrer em locais em que não seria instalada uma grande usina geradora convencional, contribuindo, assim, para o aumento da distribuição geográfica da geração de energia elétrica em determinada região (SEVERINO, 2008). Embora seja um conceito que apenas nas últimas décadas ganhou a atenção de grupos de pesquisa, Estados e empresas concessionárias, trata-se de uma forma de geração energética que foi bastante comum e chegou a ser regra desde o início da industrialização até a primeira metade do século XX, período em que a energia motriz da indústria era praticamente toda gerada localmente.



A análise da literatura relevante dessa área mostra que, há uma certa variação quanto à conceituação e as definições existentes para a geração distribuída, revelando que ainda não há uma definição de GD geralmente aceita (RODRIGUES, 2006; ACKERMANN, et al., 2001; DIAS, et al., 2005 & EL-KHATTAM e SALAMA, 2004). Verifica-se que cada autor utiliza a definição que melhor satisfaz a determinadas necessidades. Até mesmo grandes organizações de caráter técnico, como a *International Energy Agency* – IEA -, o *US Department of Energy* e o *International Council on Large Electric Systems* – CIGRE - acabam por divergir consideravelmente no que tange a este assunto (RÚJULA, et al., 2005):

- **DPCA (*Distributed Power of America Coalition*)** → A Geração Distribuída é qualquer tecnologia de geração de energia em pequena escala que fornece potência em local mais próximo aos usuários finais, quando comparada à geração centralizada, podendo ser conectada diretamente aos consumidores ou conectada à rede de uma concessionária de distribuição e transmissão;
- 

- **CIGRÈ (Internacional Conference on High Voltage Electric Systems)** → A geração distribuída é planejada de forma descentralizada e com despacho descentralizado, normalmente ligada à rede de distribuição de concessionárias e com potência entre 50 MW e 100 MW;
- **IEA (Internacional Energy Agency)** → A geração distribuída é uma planta de geração que atende a um cliente local, ou que preste apoio a uma rede de distribuição, sendo ligada à rede no nível de tensão da rede de distribuição. Dentre as fontes, geralmente não se inclui a energia eólica, visto que os grandes parques eólicos são planejados de modo a atender a grandes sistemas, ultrapassando os limites das demandas locais;
- **US Department of Energy** → A geração distribuída trata-se de pequenas geradoras, com pequenas potências, modulares e situadas próximas à carga, permitindo aos mesmos adiar ou até mesmo eliminar custos com relação aos investimentos em linhas de distribuição e transmissão, oferecendo aos usuários finais maior confiabilidade e qualidade no fornecimento de energia, favorecendo, inclusive, uma energia com "status" de contribuição à limpeza ambiental.

Todavia, cada definição traz em si informações importantes acerca de um ponto de vista sobre a geração distribuída. De posse de um diversificado volume de informações disponíveis, é possível construir uma lista de aspectos relevantes a serem discutidos para a elaboração do conceito de GD e para a elaboração de uma definição mais adequada, clara e precisa de geração distribuída (SEVERINO, 2008).

No Brasil, geração distribuída foi definida de forma oficial por meio do Decreto nº 5.163 de 30 de Julho de 2004 (BRASIL, 2004), e foi definida da seguinte forma:

" Art. 14. Para os fins deste Decreto, considera-se geração distribuída a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados (...), conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento:  
I - hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW; e





II - termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a setenta e cinco por cento, (...).

Parágrafo único. Os empreendimentos termelétricos que utilizem biomassa ou resíduos de processo como combustível não estarão limitados ao percentual de eficiência energética prevista no inciso II do caput" (BRASIL, 2004).

Desta forma, define-se neste trabalho a geração distribuída como sendo qualquer fonte geradora com produção destinada, em sua maior parte, a cargas locais ou próximas, alimentadas sem necessidade de transporte da energia através da rede de transmissão (INEE, 2002), e que tenha capacidade de mobilidade no que diz respeito à sua localização física.

Pode-se considerar que uma fonte de energia elétrica é um caso particular de geração distribuída quando ela apresenta os seguintes requisitos (SEVERINO, 2008):

- Supra cargas elétricas de uma instalação eletricamente isolada;
- Esteja conectada diretamente à rede de distribuição;
- Esteja conectada do lado de um consumidor conectado a algum ponto do sistema elétrico;
- Esteja conectada diretamente à rede de transmissão, desde que, neste caso, ela não possa ser considerada caso pertencente à geração centralizada;
- Produza potências relativamente baixas, entre 15kW e 10MW (SANTOS e SANTOS, 2008).

Com relação à especificação dos limites de potência das unidades de geração distribuída, há diferentes posicionamentos na literatura técnica específica. Para os autores (WILLIS e SCOTT, 2000), a potência da geração distribuída está contida na faixa de 15 kW a 10 MW. Já, Ackermann, Andersson e Söder (2001) apresentam os seguintes exemplos (ACKERMANN, et al., 2001):

- Para o EPRI – de uns poucos quilowatts até 50 MW;
- Para o Gas Research Institute, de Chicago – EUA: tipicamente de 25 kW a 25 MW;



- Para o CIGRE : inferior a 50 – 100 MW;
- Para outros autores: de poucos kW até 100 MW ou de 500 kW a 1 MW.

Há que se ater ao fato que, a máxima potência que pode ser conectada a um sistema de distribuição depende da capacidade deste, que é vinculada ao seu nível de tensão nominal. Há autores que sugerem que unidades geradoras com potências superiores a 100 MW – 150 MW não podem ser conectadas a linhas elétricas de 110 kV devido a restrições técnicas. Considerando que a tensão de 110 kV é, na maioria dos casos, o máximo nível de tensão de linhas pertencentes e operadas por companhias de distribuição, a máxima capacidade para usinas de GD parece estar na faixa de 100 MW a 150 MW (ACKERMANN, et al., 2001). A potência instalada, na definição adotada neste trabalho, não é considerada relevante para a caracterização da geração distribuída (ACKERMANN, et al., 2001). Há, porém, uma possível classificação da GD em função da potência:

- Micro (até 5 kW);
- Pequena (de 5 kW a 5 MW);
- Média (de 5 MW a 50 MW);
- Grande (de 50 MW a 300 MW).


Tais valores consideram a realidade americana. No Brasil, a geração distribuída tem como limite superior a potência instalada de 30 MW ou de 50 MW, dependendo do autor (DIAS, 2005).

Como apresentado anteriormente, a geração distribuída não é um elemento novo nos sistemas elétricos de potência mundiais. Ela surgiu antes do aperfeiçoamento dos transformadores, quando a distribuição da energia elétrica era feita a consumidores próximos à geração. Só depois que esses equipamentos foram desenvolvidos, a corrente alternada foi plenamente adotada para ser transportada a grandes distâncias (OLIVEIRA, 2010).


Sabe-se que muitas eram as limitações no início da implantação e desenvolvimento dos sistemas elétricos de potência. Desta forma, no intuito de minimizá-las, a energia obrigatoriamente devia ser gerada nos locais próximos aos consumidores, caracterizando o nascimento essencial da geração









descentralizada, ou distribuída. Contudo, tal modelo exigia que fossem utilizados condutores de grandes seções de modo a atender à crescente demanda por energia elétrica, o que era muito caro, principalmente nas zonas rurais que não dispunham de recursos para a construção de centrais geradoras locais, ou mesmo para a aquisição da grande quantidade de grossos fios de cobre, necessária ao atendimento da comunidade. Outra limitação era a conversão de tensão, que era ineficiente, se não impossível, bem como o manejo extremamente complexo de todos os instrumentos, equipamentos e materiais. Todavia, a geração distribuída prosseguiu a partir da construção de um grande número de usinas elétricas que garantiram a geração de energia elétrica em muitas comunidades (OLIVEIRA, 2010).



Diante de tantas dificuldades, em meados do século XX, o desenvolvimento tecnológico de geradores, transformadores, motores e sistemas de transmissão, viabilizou-se o desenvolvimento do modelo centralizado, o que causou um arrefecimento no aprimoramento e aplicação de sistemas de geração distribuída.



Todavia, conforme descrito anteriormente, após as crises do petróleo da década de 1970, houve um retorno de investimentos voltados ao desenvolvimento científico e tecnológico de sistemas de geração distribuída, principalmente nos EUA. Outro fator importante foi a questão da degradação ambiental mundial, bem como a constatação, ou tomada de consciência, da escassez dos combustíveis fósseis e de seus impactos ao meio ambiente. Todos esses fatores, aliados a outros de cunho econômico, social e ambiental, tornaram altamente criticável a aplicabilidade dos sistemas convencionais de geração de energia elétrica em todo o mundo. Em contraposição às centrais convencionais, como meios complementares e alternativos de produção de energia, aparecem novos tipos de centrais, mais modernas, cujo desenvolvimento e estudo têm merecido o maior interesse, em vista da atual e futura situação das reservas energéticas dos combustíveis para as centrais convencionais, bem como de preocupações relativas à poluição do ambiente (SANTOS e SANTOS, 2008).



Formas de produção de energia de menor dimensão são abarcadas no conceito de geração distribuída, que pode incluir várias formas de produção de energia elétrica, quer sejam de fontes renováveis ou alternativas: microturbinas a gás, pilhas de células de combustível, grupo gerador diesel, cogeração, centrais de biomassa, fotovoltaicas, eólicas, dentre outras (SANTOS e SANTOS, 2008). Destas destacam-se nomeadamente:




- Microturbinas a gás;
- Pilhas de células de combustível;
- Grupo gerador Diesel;
- Cogeração;
- Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e Centrais de Geração Hidrelétrica (CGH);
- Centrais de Biomassa;
- Fotovoltaicas;
- Eólicas.

Uma vez implantada corretamente e em locais adequados, a GD pode propiciar muitos benefícios aos consumidores, às concessionárias, à sociedade e ao sistema elétrico interligado, em comparação com as opções convencionais de geração (SEVERINO, 2008). Há, contudo, aspectos tanto positivos quanto negativos (RODRIGUES, 2006).



**Aspectos positivos** (SEVERINO, 2008; RODRIGUES, 2006; MORTADA, 2001; & SANTOS e SANTOS, 2008):

- É uma alternativa viável de suprimento elétrico, inclusive para o atendimento a comunidades isoladas, ampliando o alcance do sistema elétrico;
- É economicamente atraente em função das reduções de custos que ela possibilita, principalmente pela redução de reservas centrais e redução de sistemas redundantes;
- Apresenta maior modularidade e tempo de implantação reduzido;



- 
- 
- 
- Proporciona alívio para sistemas de distribuição e de transmissão em condições de sobrecarga ou congestionamento, e maior flexibilidade operativa;
  - Aumenta a confiabilidade do sistema, com índices muito elevados, próximos a 100% devido à redução de perdas sistêmicas;
  - Supre o consumidor com energia de ótima qualidade no que se refere à tensão, frequência, harmônicos, etc., principalmente em áreas congestionadas, no final de linha de trechos longos;
  - Apresenta maior eficiência energética obtida pela operação conjunta de GD e geração convencional;
  - Desloca as curvas de risco hidrológico, fornecendo energia sazonal em tempos de escassez pluviométrica;
  - Proporciona a diversificação da matriz energética e aumenta a segurança de suprimento energético, reduzindo a necessidade de importação de recursos;
  - Causa menores impactos ambientais devido à redução do porte dos empreendimentos e à baixa emissão de poluentes (principalmente CO<sub>2</sub>) de grande parte das fontes usadas nas tecnologias de GD.

**Aspectos negativos** (SEVERINO, 2008; RODRIGUES, 2006; MORTADA, 2001; & SANTOS e SANTOS, 2008):


- 
- 
- Grande complexidade, incluindo a técnica, no nível de planejamento e operação do sistema elétrico, principalmente do despacho centralizado;
  - Necessidade de integração e de gerenciamento da GD junto às redes de distribuição existentes, que têm grau de complexidade dependente da rede e da fonte de GD a ser instalada; e isso requer análise caso-a-caso, o que garante custos adicionais;
  - Impactos bastante relevantes nos procedimentos de operação, proteção e de controle da rede de distribuição;
  - Necessidade de novas configurações da rede de distribuição a fim de incorporar e explorar a GD já no seu planejamento;



- Necessidade de monitoramento constante da qualidade da energia;
- Dificuldades de elaboração de normas claras e abrangentes face às especificidades de cada rede e da própria GD;
- Elevados custos marginais de operação envolvidos, notadamente superiores aos custos da maioria das opções de geração centralizada;
- Em alguns casos, redução do fator de utilização das instalações de distribuição e transmissão das concessionárias de energia, propiciando o aumento do preço médio de fornecimento de energia proveniente da geração convencional centralizada.




### 3. POTENCIAL DE GERAÇÃO SOLAR




O Sol é a estrela mais próxima da Terra e emite uma enorme quantidade de radiação, fruto de diversas reações internas de fusão nuclear. Apenas uma parcela pequena desta energia chega ao planeta Terra, mas o suficiente para caracterizar-se como um imenso recurso natural. No contexto das conversões energéticas fotovoltaicas, é preciso, pois, conhecer e entender qual é sua natureza e sua disponibilidade espacial e temporal, a fim de aproveitar eficientemente este recurso solar.



#### 3.1. O Sol e sua Energia



O Sol produz uma enorme quantidade de energia e emite cerca de 62,5 kW/m<sup>2</sup> (SANTOS, 2011), mas apenas uma pequena parcela desta energia chega à Terra, em forma de radiação. A quantidade de energia produzida pelo Sol não poderia ser gerada por combustão, de acordo com afirmações dos astrônomos, desde o século XIX, uma vez que, se fosse essa a fonte de energia, o Sol se manteria brilhando por apenas 10 mil anos. O físico alemão Hermann Ludwig Ferdinand Von Helmholtz (1821-1894) propôs em 1854 que a fonte de energia do Sol seria a energia gravitacional. Porém, esta proposta não se mostrou uma explicação muito eficiente, pois a energia gravitacional poderia suprir a luminosidade do Sol por apenas 20 milhões de anos, enquanto evidências geológicas indicam que o Sol tem uma idade de bilhões de anos (MORAES, 2002).



Atualmente, a teoria aceita para a fonte de energia do Sol foi proposta por Hans Albrecht Bethe, em 1937. Entre 1935 a 1938, Bethe estudou reações nucleares e reações seção eficaz (ciclo carbono-oxigênio-nitrogênio), dirigindo a sua importante contribuição a nucleossíntese estelar. Desenvolveu a teoria das reações nucleares e dos núcleos compostos; descobriu, ainda, as reações que fornecem energia para as estrelas, ou seja, como as estrelas produzem sua própria energia por meio de processos de fusão nuclear (LEITE, 2007). Tal





fonte seria as reações termonucleares, onde quatro prótons são fundidos em um núcleo de hélio, com liberação de grande quantidade de energia à medida que a matéria é convertida em energia: aproximadamente 4 bilhões de quilos de matéria por segundo. Enquanto a temperatura no interior do Sol é de mais de  $4,0 \times 10^7$  °C, os gases na sua superfície estão a aproximadamente  $6,0 \times 10^3$  °C (HINRICHS e KLEINBACH, 2011). A reação nuclear mais importante nas estrelas brilhantes é o ciclo carbono-nitrogênio, enquanto que nas estrelas mais fracas, como o Sol, são as reações próton-próton (LEITE, 2007). Assim, tendo-se que a composição do Sol é 92,1% hidrogênio, 7,8% hélio, 0,061% oxigênio, 0,039% carbono e 0,0084% nitrogênio, pode-se concluir que o Sol tem hidrogênio suficiente para alimentar essas reações por bilhões de anos (MORAES, 2002).

Outro fator importante para se entender a quantidade de energia fornecida pelo Sol à Terra é a distância entre os dois corpos celestes. Desta forma, sabe-se que essa distância corresponde a cerca de  $1,499 \times 10^8$  km. Conhecendo-se essa distância, tornou-se possível determinar a luminosidade do Sol, que é a potência produzida por ele. Desta forma, cada metro quadrado na Terra recebe do Sol uma potência aproximada de 1.400 watts, ou 1.400 joules por segundo. Por meio desta potência recebida na Terra, determina-se a luminosidade do Sol em  $4 \times 10^{26}$  watts, ou  $4 \times 10^{33}$  ergs por segundo. Toda essa quantidade de energia corresponde à queima de  $2 \times 10^{20}$  galões de gasolina por minuto, mais de 10 milhões de vezes a produção anual de petróleo na Terra (MORAES, 2002).

### 3.2. Aspectos da Energia proveniente do Sol e sua importância para as conversões fotovoltaicas

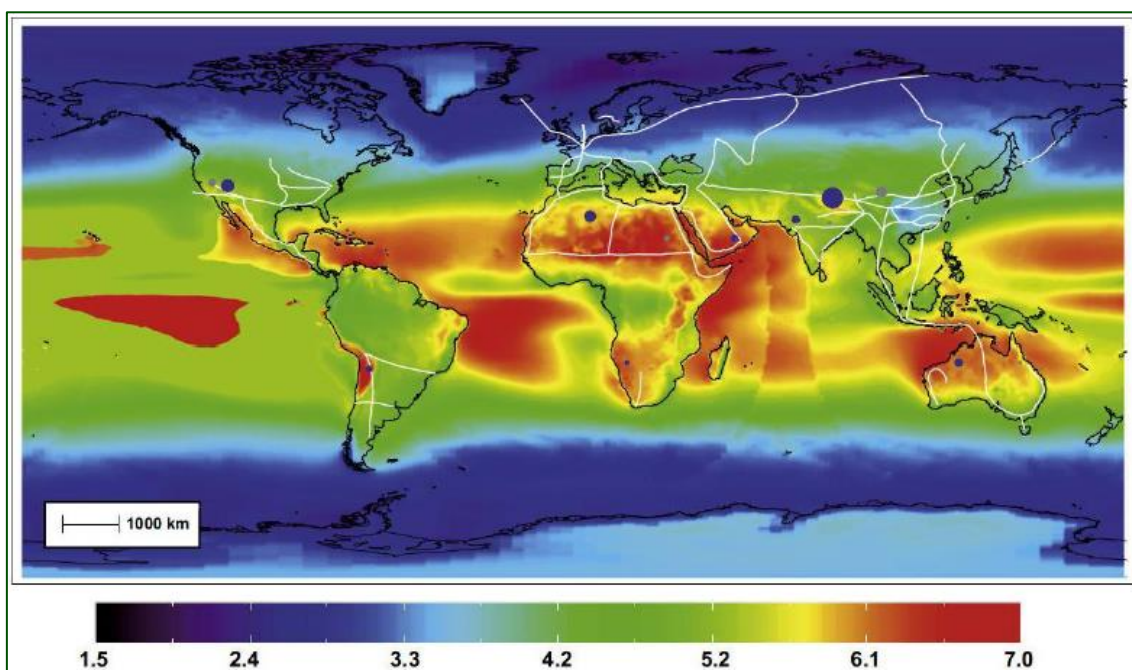
O grande interesse na energia solar está nas possibilidades de aproveitamento desta pela humanidade, por meio de conversões energéticas. A energia proveniente da radiação solar que atinge a atmosfera terrestre a cada ano equivale a  $1,52 \times 10^{18}$  kWh e o consumo anual de energia no mundo é de  $1,40 \times 10^{14}$  kWh, em 2010 (COGEN, 2012), ou seja, 0,01% da radiação solar



supriria a demanda mundial anual de energia (SANTOS, 2011). Tem-se ainda que uma hora de energia solar incidente sobre a Terra equivale ao consumo energético no mundo durante um ano (COGEN, 2012).

Um dos principais aspectos da energia proveniente do Sol é a chamada Irradiância Solar ( $G$ ), que constitui uma medida de potência (energia/tempo) por unidade de área, sendo medida em watts por metro quadrado ( $W/m^2$ ), ou, quando se trata de expressar a irradiância incidente sobre uma célula fotovoltaica, em miliwatts por centímetro quadrado ( $mW/cm^2$ ). A irradiância solar que chega a nosso planeta tem um valor médio aproximado de  $1.367 W/m^2$ , ou aproximadamente  $1.400 W/m^2$ . Entende-se que a Irradiação Solar corresponde à quantidade de energia solar incidente por unidade de superfície durante um período definido de tempo (normalmente um dia, mês ou ano), sendo obtida por meio da integral da irradiância global neste período. É expressa, comumente, em  $kWh/(m^2 \cdot dia)$ ,  $kWh/(m^2 \cdot mês)$  ou  $kWh/(m^2 \cdot ano)$  (ONU DI, 2014).

Figura 1: Irradiação média mundial anual em plano horizontal ( $kWh/m^2 \cdot dia$ )

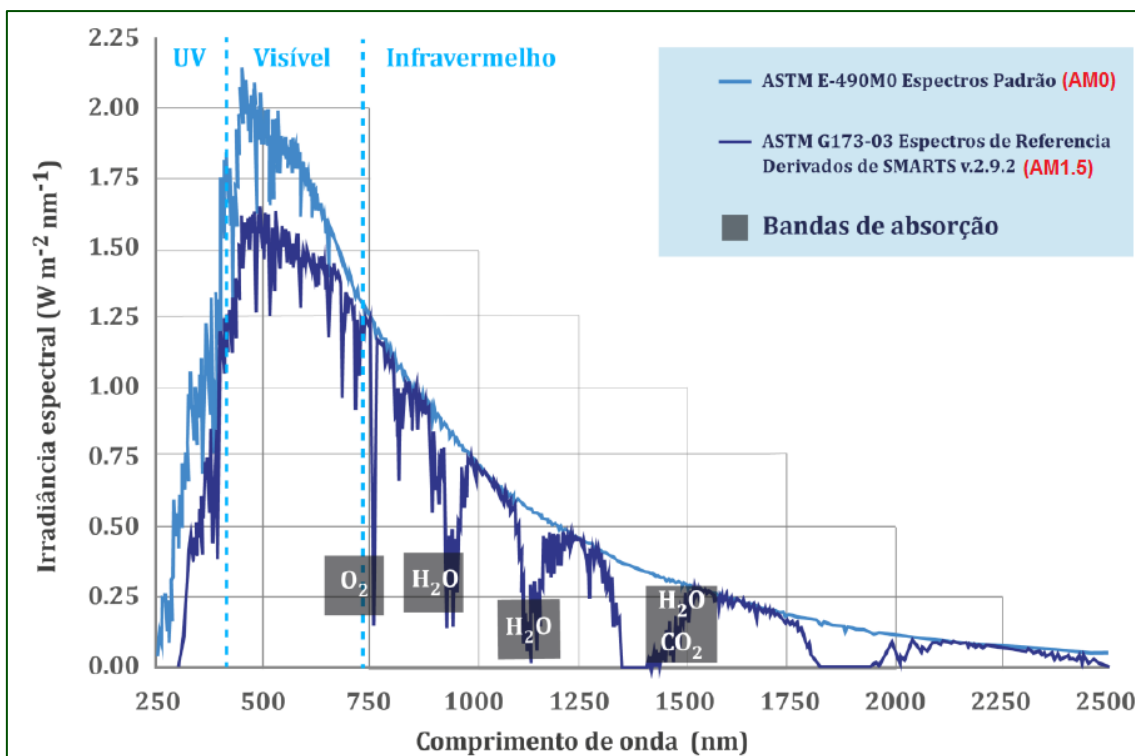


Fonte: COGEN (2012).

A radiação solar é constituída de ondas eletromagnéticas com uma determinada gama de frequências ou, inversamente, de comprimentos de

onda. Considera-se que, de fato, toda a sua energia se encontra limitada ao intervalo de comprimentos de onda existente entre  $0,2\mu\text{m}$  e  $4\mu\text{m}$  e sua representação é conhecida como Espectro Solar. Fora da atmosfera, seu espectro se equivale ao de um corpo negro a uma temperatura de  $5.770\text{ K}$ . Este é o chamado AM0 (Air Mass 0) (SARK, et al., 2012). Posteriormente, a interação da radiação solar com a atmosfera terrestre faz com que este espectro seja modificado. O Espectro Solar de Referência para aplicações fotovoltaicas terrestres é o AM1.5G (Figura 2), que correspondente a uma massa de ar de 1,5 (ONUDI, 2014).

Figura 2: Espectro Solar de Referência ASTM G173-03



Fonte: ONUDI (2014).

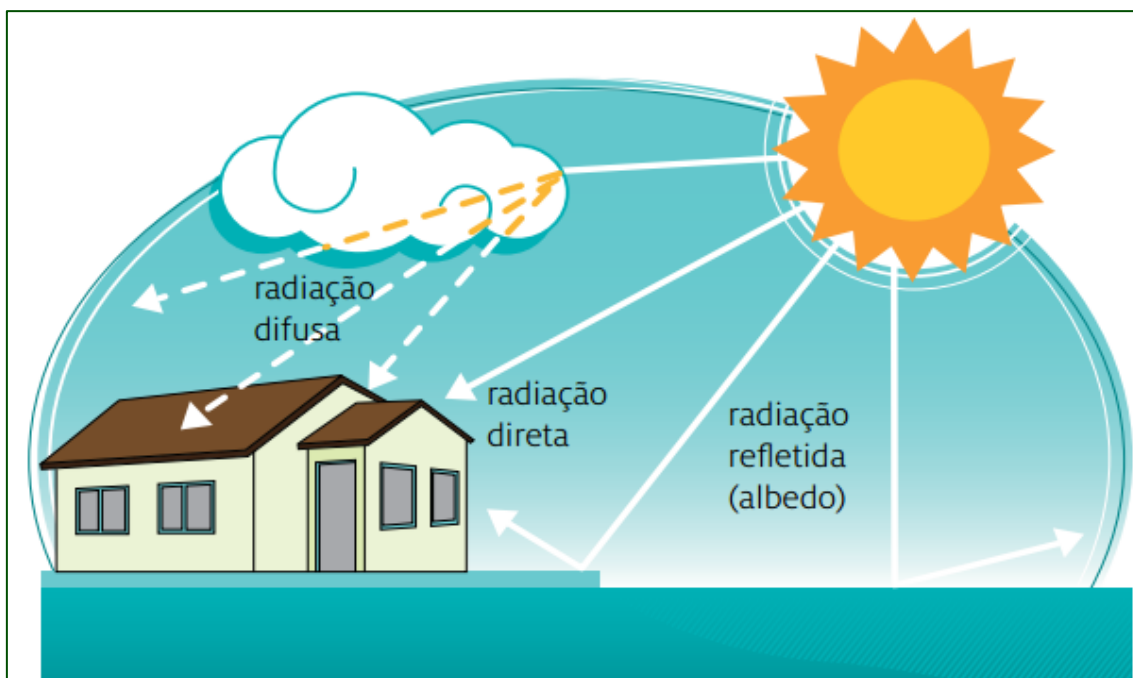
A radiação solar, ao atravessar a atmosfera terrestre, chega à superfície da Terra de modos diferentes, podendo a Irradiância Solar ser descomposta em irradiância direta ( $G_b$ ), que é aquela medida em determinado local por um elemento na superfície terrestre perpendicular aos raios do Sol, e irradiância difusa ( $G_{dif}$ ), que é aquela refratada ou refletida por componentes atmosféricos. Contudo, a superfície terrestre reflete uma fração da irradiância solar recebida.





Desta forma, um dispositivo fotovoltaico, dependendo de sua orientação, pode receber também parte desta irradiância refletida, que pode influir em seu comportamento. A esta fração denomina-se albedo ( $G_{refl}$ ) (ONU DI, 2014; & ASPE, 2013). Tais frações da incidência da radiação solar sobre a Terra estão ilustradas na Figura 3.

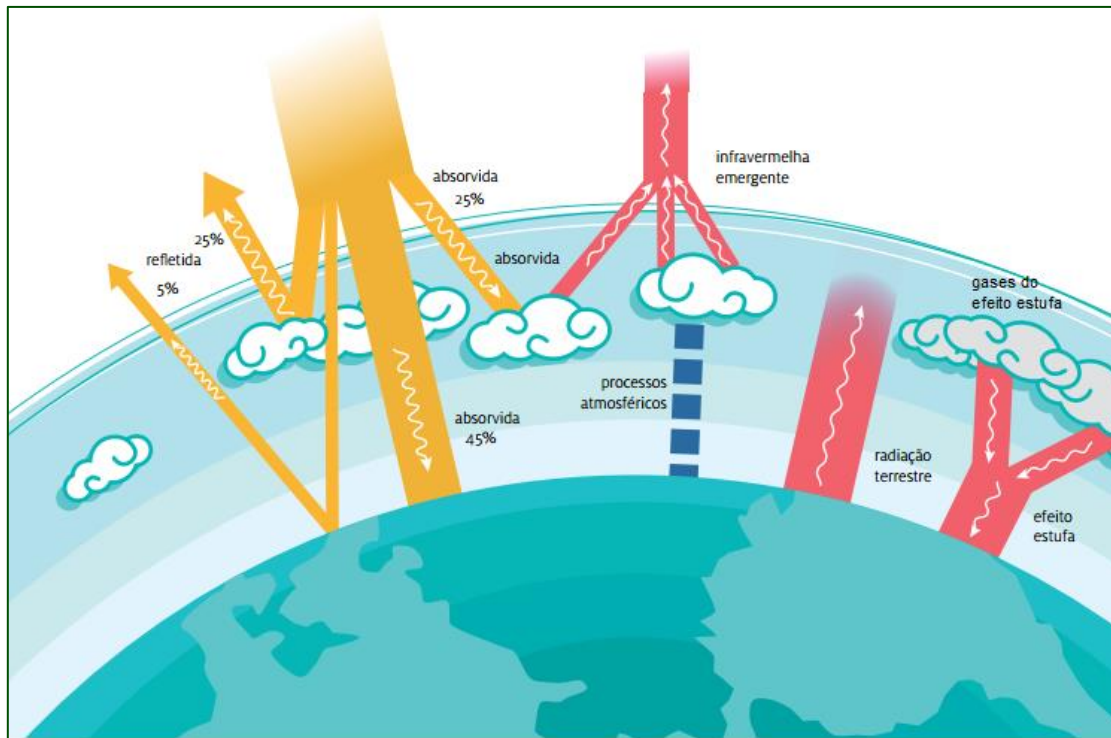
Figura 3: Radiação difusa, direta e refletida pela superfície (albedo)



Fonte:(ASPE (2013).

Ao atravessar a atmosfera da Terra, a radiação solar passa por processos físicos de reflexão e absorção, e o mesmo ocorre ainda na superfície do planeta (Figura 4). As perdas da radiação na atmosfera terrestre se devem devido a variações espaciais (em função da latitude, altitude, entorno, etc), temporais (mês do ano e horário do dia) e das condições climáticas (chuvas, nebulosidade, particulados provenientes de queimadas, etc) (HINRICHS e KLEINBACH, 2011). As nuvens, os gases e as partículas atmosféricas refletem cerca de 25% e absorvem outros 25% da radiação incidente sobre a Terra. Os demais 50% alcançam a superfície, sendo 45% absorvidos e 5% refletidos (ASPE, 2013).

Figura 4: Diagrama simbólico dos processos de interação da radiação solar com a atmosfera terrestre.



Fonte: ASPE (2013).

Conforme apresentado por Silva (2014), a maioria das fontes de energia utilizadas pelo Homem provêm da energia fornecida pelo Sol. Tal energia pode, também, ser aproveitada, em sua forma direta, para a geração de energia térmica, potência mecânica e/ou energia elétrica (Figura 5) (SILVA, 2014).

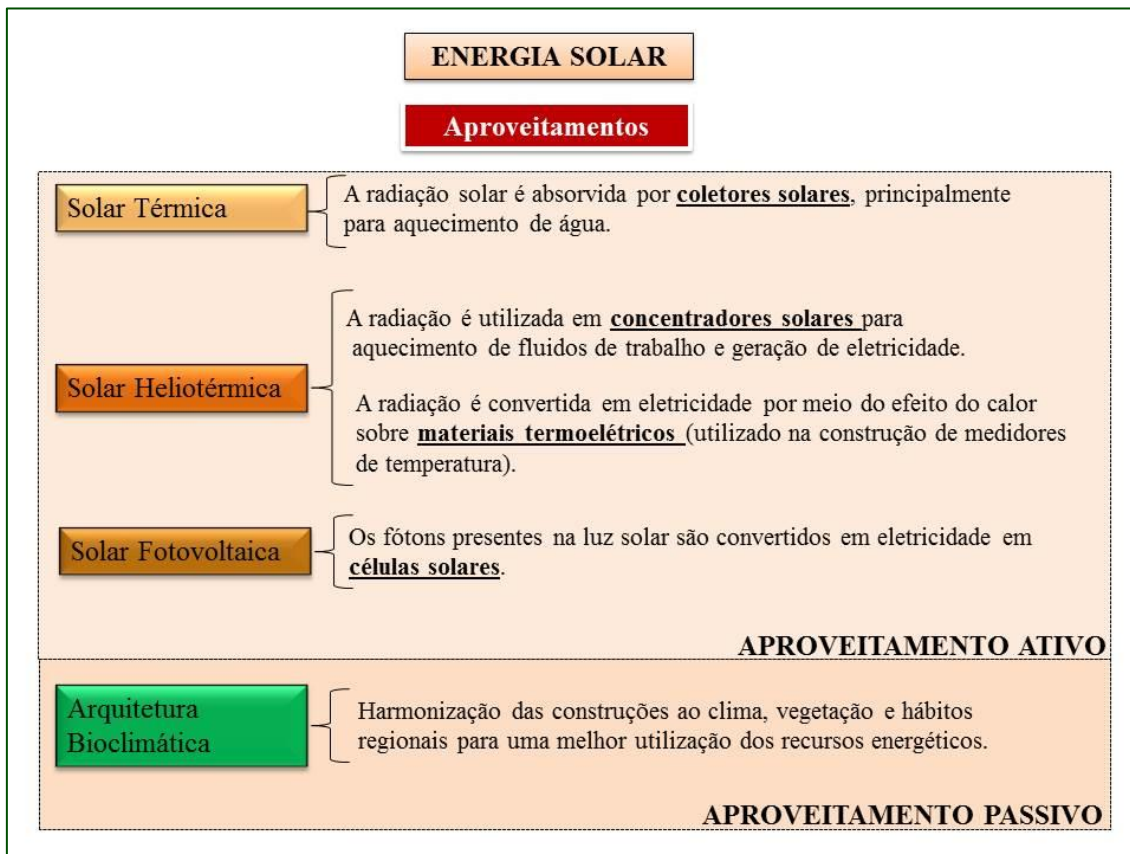
Todavia, dentre os vários processos de aproveitamento da energia solar, os mais usados, e conseqüentemente mais desenvolvidos, no contexto atual são o aquecimento de água e a geração de energia elétrica (SILVA, 2014). Existem dois sistemas tecnológicos para produção de energia elétrica por fonte solar: o heliotérmico, que utiliza superfícies refletoras para concentrar radiação solar direta em um receptor, em cujo interior circula um fluido de trabalho que realiza um ciclo termodinâmico para gerar energia elétrica; e o fotovoltaico, cuja transformação da radiação solar em eletricidade, por meio do efeito fotovoltaico, é direta e se dá nas células fotovoltaicas (BRASIL, 2008). Os módulos fotovoltaicos utilizam a radiação solar global para o processo de conversão energética em eletricidade; já os sistemas heliotérmicos utilizam





somente a componente direta de radiação solar e produzem calor e energia somente em regiões com altos índices de radiação solar direta (CEMIG, 2012).

Figura 5: Aproveitamentos da Energia Solar.



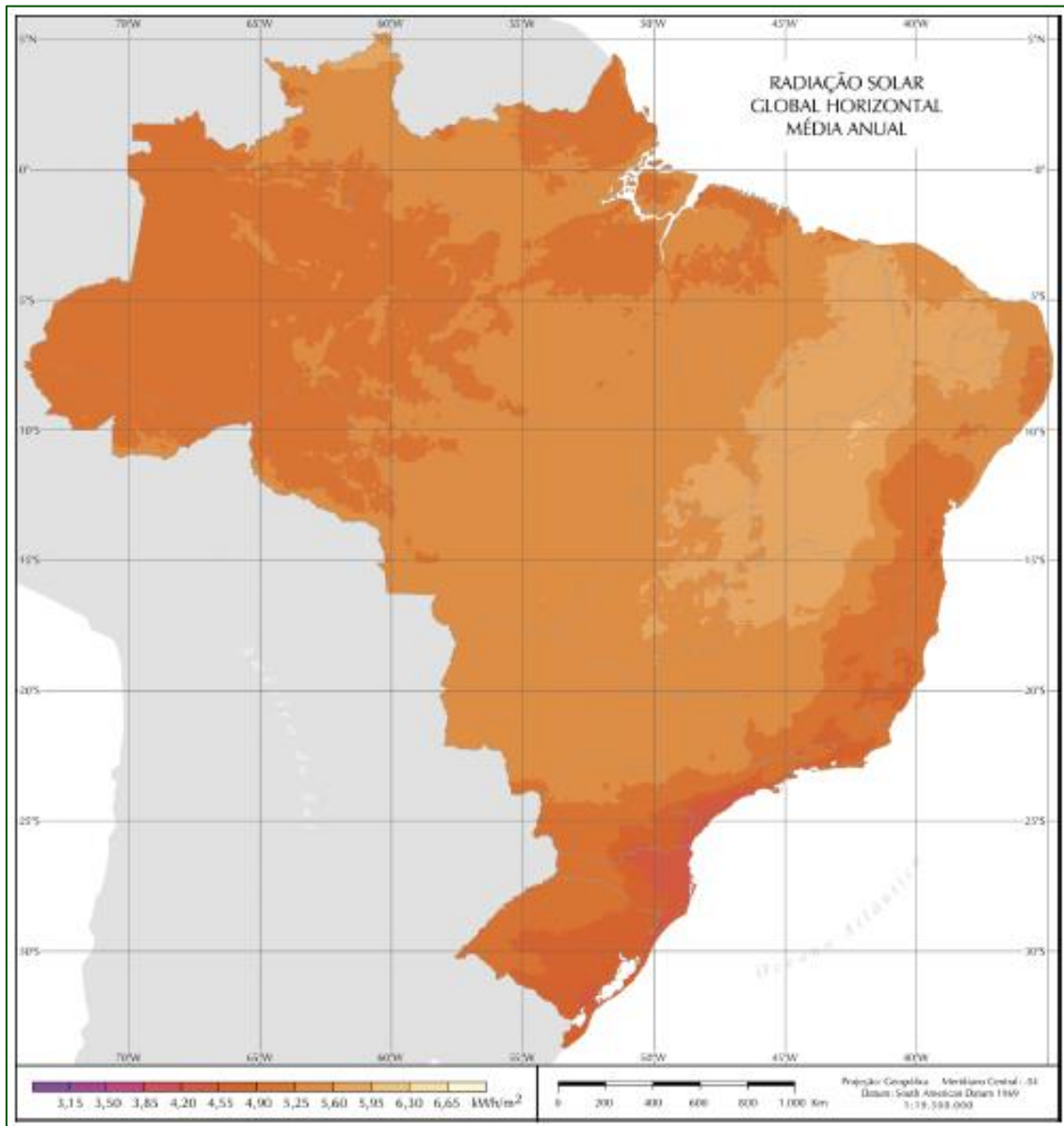
Fonte: Adaptado de Silva (2014).

### 3.3. Potencial de irradiação solar no Brasil

O Brasil apresenta um dos maiores índices de irradiação solar do mundo. A maior parte do território nacional encontra-se próxima à linha do Equador, não apresentando assim grandes variações de radiação solar ao longo do dia, como pode ser observado na Figura 6 (BRASIL, 2008). Os valores anuais de radiação solar global incidente variam entre 1.550 e 2.400 kWh/m<sup>2</sup> ao longo do território nacional e são superiores aos da maioria dos países da União Europeia, como por exemplo, a Alemanha (900 – 1.250 kWh/m<sup>2</sup>), a França (900 – 1.650 kWh/m<sup>2</sup>) e a Espanha (1.200 – 1.850 kWh/m<sup>2</sup>), onde já existem

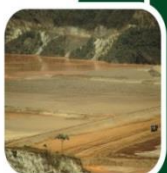
projetos que contam com fortes incentivos governamentais e são amplamente disseminados entre a população (PEREIRA, et al., 2006).

Figura 6: Atlas Brasileiro de Energia Solar



Fonte: PEREIRA, et al. (2006).

É importante salientar que, como a população brasileira se concentra em regiões mais distantes da linha do Equador, um ajuste na posição dos coletores ou painéis solares é necessário para que se maximize o aproveitamento da radiação solar. Tal ajuste é feito de acordo com a latitude de local, assim como o período do ano que requer mais energia.





Nota-se ainda, que mesmo as regiões brasileiras com menores índices de radiação apresentam grande potencial de aproveitamento energético para esta fonte, sendo comparáveis com as regiões de maiores índices na Alemanha.

No Brasil, o Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (PRODEEM) levou eletricidade às comunidades isoladas, utilizando energia fotovoltaica. Posteriormente este programa foi incorporado ao programa “Luz para Todos”, que também utiliza a tecnologia fotovoltaica com o objetivo de evitar o êxodo rural (BRASIL, 2014).

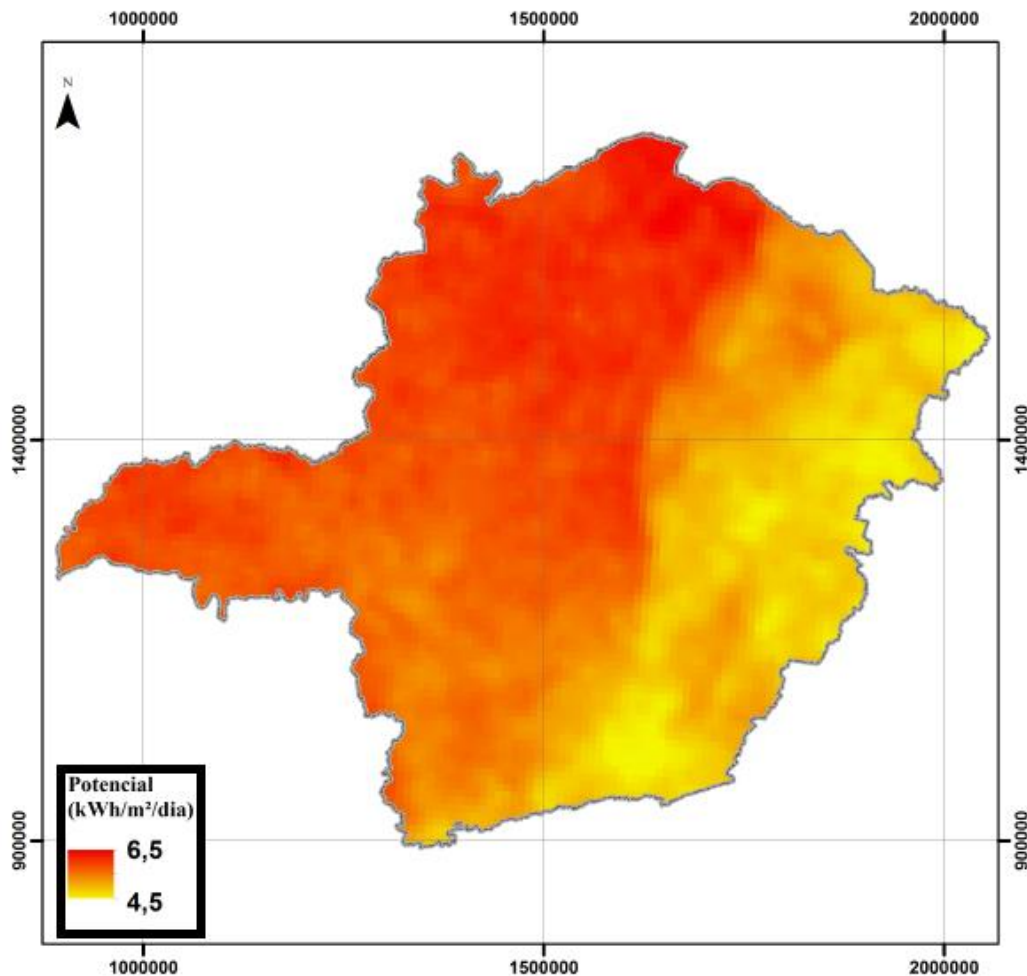
O potencial brasileiro de aproveitamento solar, aliado a atual escassez nacional de energia, cuja matriz energética é baseada nas grandes Usinas Hidrelétricas e nas Termoelétricas abastecidas a combustíveis fósseis, serve de grande motivação para que se busquem alternativas energéticas de cunho renovável.

### 3.4. Potencial de radiação solar em Minas Gerais

Segundo a CEMIG, para sistemas fotovoltaicos planos (sem dispositivos de concentração) o requisito de radiação solar são valores acima de 2.000 kWh/m<sup>2</sup>-ano, ou seja, 5,5 kWh/m<sup>2</sup>-dia (valor médio diário anual), valores esses, um pouco acima do que usualmente se utiliza para a elaboração de estudos de viabilidade de instalação de centrais fotovoltaicas em nível mundial (CEMIG, 2012).

O território mineiro possui várias regiões que apresentam tais requisitos de radiação. Segundo o Atlas Solarimétrico de Minas Gerais, o Estado possui radiação solar global diária média anual entre 4,5 e 6,5 kWh/m<sup>2</sup>-dia (CEMIG, 2012).

Figura 7: Radiação solar média diária anual em Minas Gerais



Fonte: SILVA (2014).

Em termos do desenvolvimento sustentável, para Minas Gerais, a região Noroeste, e parte da Norte, configuram como sendo as melhores regiões do estado para a implantação de usinas solares fotovoltaicas (BARBOSA, et al., 2014).

De acordo com dados do Siam (2015), observa-se que tem crescido a solicitação de Licenças Prévias (LPs) para implantação de empreendimentos solares fotovoltaicos no Estado de Minas Gerais, conforme Tabela 1, o que demonstra um aumento no interesse de empreendedores em investir no aproveitamento do potencial de irradiação solar em território mineiro.







Tabela 1: Status de concessão de LPs em Minas Gerais (novembro/2015).

Empreendimento	Tipo Licença	Município	Classe	Situação
Fazenda Canadá- MAT 6.296	LP	Uberlândia	3	Aguardando Informação Complementar
Solatio Brasil Gestão de Projetos Solares Ltda – ME	LP	João Pinheiro	3	Aguardando Informação Complementar
Solatio Brasil Gestão de Projetos Solares Ltda – ME	LP	João Pinheiro	3	Aguardando Informação Complementar
Usina Fotovoltaica Piedade I	LP	Monte Alegre De Minas	3	Em Análise Técnica
Solatio Brasil Gestão de Projetos Solares Ltda-ME / Usina Solar Fotovoltaica Guimarães 1 e 2	LP	Guimarânia	3	Em Análise Técnica
Solatio Brasil Gestão de Projetos Solares Ltda – ME	LP	João Pinheiro	3	Certificação Concedida
AES Tietê S/A	LP	Iturama	3	Licença Concedida
Consórcio Vazante	LP	Vazante	3	Licença Concedida
Consórcio Vazante	LP	Vazante	3	Licença Concedida
Central Geradora Fotovoltaica- UFV RQL01/02	LP	Francisco Sá	3	Licença Concedida
Usina Fotovoltaica Pedro da Silva Neiva	LP	Paracatu	3	Licença Concedida
Solatio Brasil Gestão de Projetos Solares Ltda-ME	LP	Verdelândia	3	Licença Concedida
Solatio Brasil Gestão de Projetos Solares Ltda-ME	LP	Itacarambi	3	Licença Concedida
Solatio Brasil Gestão de Projetos Solares Ltda-ME	LP	Itacarambi	3	Licença Concedida
Usina Solar Fotovoltaica Coromandel 1 e 2	LP	Coromandel	3	Licença Concedida
Usina Solar Fotovoltaica Pirapora 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10	LP	Pirapora	3	Licença Concedida
Usina Solar Fotovoltaica Várzea da Palma 1, 2 e 3	LP	Várzea Da Palma	3	Licença Concedida
Usina Solar Fotovoltaica Francisco Sá 1, 2 e 3	LP	Francisco Sá	3	Licença Concedida
Pilos Serviços Administrativos Ltda	LP	Jaíba	3	Licença Concedida
Solatio Solar Gestão de Projetos Ltda – ME	LP	Paracatu	3	Licença Concedida
Vision Engenharia e Consultoria S.A. - USF Vision 1,2 e 3	LP	Manga	3	Licença Concedida
Parque Solar Jaíba	LP	Jaíba	3	Licença Concedida - "Ad Referendum"
Parque Solar Caprochosa	LP	Jaíba	3	Licença Concedida - "Ad Referendum"
Consórcio Vazante	LP	Vazante	3	Licença Concedida - "Ad Referendum"


Fonte: CCEE (2015).



Observa-se que, a classe 3, unânime nestes empreendimentos, geralmente caracteriza empreendimentos de até 30 MW, fato que demonstra a preocupação de investidores em enquadrar-se na Resolução Normativa Aneel 481/2012, que amplia o desconto concedido a empreendimentos de fontes incentivadas com potência inferior a 30 MW na tarifa de uso do sistema de transmissão/distribuição (TUST/TUSD). Essa ampliação, de 50% para 80%, valerá apenas pelos 10 primeiros anos de operação de empreendimentos solares que entrem em operação comercial até o final de 2017, devendo o desconto retornar ao patamar de 50% após esse período.




## 4. ASPECTOS TÉCNICOS DOS SISTEMAS SOLARES DE CONVERSÃO DE ENERGIA




As fontes renováveis de energia, em sua grande parte, são derivadas da energia solar (SILVA, 2014). Por exemplo, a energia eólica decorre de gradientes de temperatura entre massas de ar aquecidas de forma não homogênea, a bioeletricidade depende da conversão da energia solar em biomassa por meio da fotossíntese, além das usinas hidrelétricas que dependem do ciclo da água, que ocorre graças à energia solar (COGEN, 2012). No entanto, há o aproveitamento passivo e o ativo desta energia, sendo o mais difundido o aproveitamento ativo (SILVA, 2014), grupamento no qual se encontra o foco deste estudo.


### 4.1. Geração de calor



A geração de calor, por aquecimento solar, para aquecimento de fluidos se dá por meio de coletores ou concentradores solares, que são tanto captadores quanto armazenadores de energia. Os coletores solares são mais usados em aplicações residenciais e comerciais para o aquecimento de água; já os concentradores solares destinam-se a aplicações que requerem temperaturas mais elevadas, como a secagem de grãos e a produção de vapor, além do uso para geração de eletricidade (sistemas heliotérmicos) (BRASIL, 2008). Esses tipos de sistemas tratam-se, na verdade, de micro-usinas, que são capazes de produzir energia no mesmo local em que será utilizada (ELEKTRO, s.d.).



O sistema de aquecimento solar é formado basicamente por placas de coletores solares, o boiler ou reservatório térmico, uma caixa de água fria e tubulação apropriada. O coletor solar é um dispositivo onde se pode verificar a transmissão do calor por meio de três processos: condução, convecção e radiação. A energia solar que incide por radiação é absorvida pelas placas coletoras, que transmitem a parcela absorvida desta energia para a água (que circula no interior de suas tubulações de cobre), sendo que uma pequena parte



é refletida para o ar que envolve a chapa. O coletor será mais eficiente quanto maior for a quantidade de energia transmitida para a água (SIAS, 2015).

Figura 8: Coletor Solar



Fonte: SOLETROL (2015).

O boiler é um recipiente termicamente isolado onde a água aquecida que será consumida é armazenada. Para tanto, esse reservatório é mantido sempre cheio, sendo alimentado por uma caixa de água fria. São normalmente feitos de aço inoxidável, cobre ou aço carbono, e podem ser horizontais ou verticais. Possuem duas superfícies sendo uma interna e outra externa, separadas por um isolante térmico, em geral constituído por lã de vidro. O boiler divide-se em baixa e alta pressão. De baixa pressão são aqueles mais apropriados para construções onde esse se localiza pouco abaixo da caixa de água fria, com no máximo 2 metros de desnível para os de cobre e 5 metros para os de aço inox, e os de alta pressão que são aqueles mais apropriados para sistemas pressurizados ou onde localiza-se muito abaixo da caixa de água fria, com no máximo 40 metros de desnível (FEAM, 2012).

Em sistemas convencionais, a água circula entre os coletores e o reservatório térmico através de um sistema natural chamado termossifão ou circulação natural. Nesse sistema, a água dos coletores fica mais quente e, portanto, menos densa que a água no reservatório. Dessa forma, por convecção, é realizada a circulação da água. A circulação da água também pode ser feita por meio de motobombas em um processo chamado de





circulação forçada ou bombeado, e são normalmente utilizados em piscinas e sistemas de grandes volumes (SIAS, 2015). O sistema é usualmente instalado no teto das residências e edificações.

O aquecedor solar, além da economia na conta de luz, traz o benefício de diminuir o impacto na destruição do meio ambiente. De acordo com a Abrava, durante um ano, cada metro quadrado de coletor solar instalado equivale a 215 kg de lenha ou 766 litros de diesel, ou ainda 55 kg de gás (DASOL, 2012). Além da possibilidade de aumento da oferta de energia, o uso de coletores solares traz benefícios para a redução das emissões de gases de efeito estufa, pois evitam o consumo de energia do grid nacional, o qual apresenta emissões associadas à geração termelétrica. O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) estimou que cerca de 30% das emissões de CO<sub>2</sub> das edificações, projetadas para 2020, poderiam ser mitigadas globalmente de maneira economicamente eficiente, adequando projetos ao clima local e com introdução de tecnologias de aproveitamento da energia solar, como sistemas de aquecimento solar (ICLEI, 2010).

## 4.2. Geração de eletricidade

A conversão da energia solar em energia elétrica se dá de maneira direta ou indireta. Nos sistemas heliotérmicos, a energia solar é convertida em calor e, posteriormente, em eletricidade. Já nos sistemas fotovoltaicos, a energia da irradiação solar é convertida diretamente em energia elétrica, sem precisar de processos intermediários.

### 4.2.1. Sistemas Heliotérmicos

Centrais térmicas solares, ou Centrais Heliotérmicas (CSP – Concentrated Solar Power), para produção de energia elétrica têm sido construídas em todo o mundo há vários anos, principalmente no Sul da Europa, Norte e Sul da África e Estados Unidos. Usando o sol como fonte de energia

renovável, as usinas heliotérmicas estão entregando eletricidade confiável e ecologicamente correta. Diferentemente das placas solares fotovoltaicas, as heliotérmicas utilizam somente a componente direta de radiação solar e produzem calor e energia somente em regiões com altos índices de radiação solar direta.

Os principais componentes dessas usinas são de certa forma, padrões, independentes da tecnologia utilizada: um sistema de espelhos é usado para concentrar a irradiação direta do sol em um receptor; dentro do sistema de recepção, um meio é aquecido e o calor é transferido para um bloco de potência. Neste receptor circula um fluido de trabalho, geralmente óleo sintético ou sal fundido, que executa um ciclo termodinâmico, usualmente Rankine ou Brayton (DUNHAM e IVERSON, 2014), cujo objetivo é ativar de forma mecânica uma turbina, assim gerando energia elétrica. A possibilidade de implementar um sistema de armazenagem térmica é uma das principais vantagens dessas usinas. Sistemas de armazenamento de energia tem um papel essencial em cada sistema elétrico (MALAGUETA, 2013).

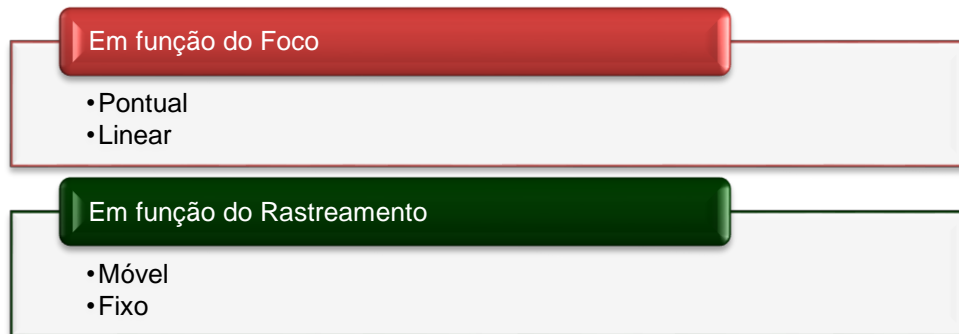
As primeiras plantas CSP foram as da Solar Energy Generating Systems, SEGS, um conjunto de nove plantas situadas no estado da Califórnia, sudoeste dos EUA. Juntas essas plantas somavam uma capacidade de 354 MW (PY; AZOUMAH e OLIVES, 2013). Em 2013, dezoito países dos 191 reconhecidos pela ONU possuíam plantas do tipo CSP, totalizando 112 projetos (NREL, 2013).

Quando comparadas com as demais fontes alternativas de geração de energia elétrica, as centrais heliotérmicas apresentam uma capacidade instalada ainda muito baixa.

Os concentradores podem ser classificados conforme o disposto na Figura 9:



Figura 9: Classificação dos Concentradores Solares.



Fonte: Elaborado a partir de MALAGUETA (2013).

Onde:

- Os concentradores pontuais focam a energia solar em um único ponto, enquanto os concentradores lineares focam a energia em uma superfície.
- Os concentradores fixos mantêm sempre a mesma direção com que foram instalados, já os móveis rastreiam o sol, sendo que este movimento pode se dar em um ou mais eixos (MALAGUETA, 2013).

Existem, atualmente, quatro tipos de tecnologias CSP, a saber: Cilindro (ou Canal) Parabólico, Refletor Linear Fresnel, Torre de Concentração Solar e Disco Stirling (ou Parabólico). Estes quatro tipos de CSP diferem-se entre si em relação às estruturas físicas, o formato e dimensões dos espelhos, o movimentação em relação ao sol e, também, em relação à temperatura atingida pelo fluido de trabalho após o aquecimento. Os sistemas de concentração solar das heliotérmicas ocupam áreas diferentes. Os sistemas de Canal Parabólico ocupam uma área de aproximadamente 38.444 m<sup>2</sup>/MW, os sistemas de Torre Solar e Disco Parabólico ocupam cerca de 40.468 m<sup>2</sup>/MW e os sistemas Linear Fresnel ocupam 19.020 m<sup>2</sup>/MW (MARANHÃO, 2014).

#### 4.2.1.1. Sistemas de Torre de Concentração Solar

Os sistemas de Torre Solar (Figura 10) utilizam um campo circular, ou semicircular, de espelhos de grandes dimensões chamados heliostatos, que realizam um seguimento individual do Sol a dois eixos e que concentram a radiação solar num receptor central montado no topo de uma torre (SILVA, 2011). Os heliostatos são compostos por uma superfície refletora, um suporte estrutural e um mecanismo de rastreamento solar. Nessa tecnologia, os fluidos de trabalho são principalmente o sal fundido e o vapor de água. Em uma descrição simplificada, em um sistema de Torre Solar a radiação solar é concentrada por meio de heliostatos na torre central, de modo que os sais fundidos que estavam inicialmente em um tanque frio atinjam altas temperaturas. Depois de aquecidos no receptor, passam por um tanque de armazenamento térmico e em seguida são direcionados para um trocador de calor, gerando vapores necessários para mover as turbinas, que fazem girar o gerador. A eletricidade produzida passa por um transformador antes de ser inserida na rede de transmissão. As temperaturas do fluido de trabalho chegam a até 2.000°C nesse tipo de central heliotérmica, sendo muito maiores do que as temperaturas alcançadas nos outros sistemas de concentração solar, permitindo a utilização de turbinas de alta potência, com maior eficiência de conversão de energia mecânica na turbina de vapor para energia elétrica no gerador, além de não necessitar de instalação de tubos absorvedores de calor (BIANCHINI, 2013).





Figura 10: Torre Solar.



Fonte: EA (2015).

#### 4.2.1.2. Sistemas de Cilindro ou Canal Parabólico

Nos sistemas de Cilindro Parabólico (Figura 11) utilizam-se espelhos refletores com uma forma cilindro-parabólica para concentrar a radiação solar num tubo receptor, termicamente eficiente, situado na linha focal da estrutura parabólica. As matrizes de espelhos podem ser de 100 m de comprimento ou mais, com a abertura curvada de 5 a 6 m (IRENA, 2012). Estes sistemas são instalados seguindo um eixo Norte-Sul e efetuam o rastreo solar seguindo a direção Leste-Oeste (SILVA, 2011). A base da estrutura possui um motor que possibilita o movimento automático de rastreo solar. O elemento coletor de calor é formado por um tubo metálico situado no foco da parábola. Este tubo é formado por um duto de vidro concêntrico a um duto metálico, e o espaço existente entre eles é evacuado, reduzindo as perdas por convecção para a atmosfera (FILHO, 2013).

Figura 11: Canal Parabólico.



Fonte: EA (2015).

O funcionamento das heliotérmicas de Canal Parabólico é similar ao funcionamento das centrais de Torre Solar. O fluido de trabalho é aquecido dentro dos tubos receptores e é direcionado para um trocador de calor. O fluido, então, troca calor com a água, que evapora. Esse vapor é então direcionado para a turbina, que movimenta o conjunto gerador de energia elétrica. A eletricidade produzida passa por um transformador e é inserida na rede elétrica. No ciclo *Rankine*, é necessário condensar o vapor que já passou pela turbina para que esse seja reintroduzido no ciclo. Essa condensação se dá com o resfriamento a água ou a ar, ou ainda de reforma híbrida. O líquido de transferência de calor é geralmente um óleo sintético, que circula dentro do tubo metálico do elemento coletor de calor. Assim, tem-se que os sistemas solares integrados com ciclo combinado (*Integrated Solar Combined Cycle Systems, ISCCS*) utilizam o calor gerado pelos coletores solares como suplemento ao calor desperdiçado na turbina a gás, de forma a aumentar a capacidade de produção de vapor no ciclo *Rankine* (ALMEIDA, 2013). Este tipo de sistema de concentração solar aquece o fluido de trabalho a temperaturas





próximas dos 400°C nos elementos coletores de calor. Atualmente, a tecnologia CSP que utiliza cilindros parabólicos é aquela com maior participação no mercado mundial (BURGI, 2013).

#### 4.2.1.3. Refletor Linear Fresnel

Os refletores do tipo Linear Fresnel são constituídos por um conjunto de espelhos planos dispostos em filas direcionando a radiação solar para um tubo receptor situado acima dos espelhos. Estes tubos receptores são fixos à estrutura e situam-se dentro de uma estrutura de três faces que não permite passagem de radiação solar, de forma que os raios solares refletidos pelos espelhos entrem somente pela face aberta (SILVA, 2011).

Figura 12: Refletor Linear Fresnel.



Fonte: SEDIGAS (2013).

Os espelhos refletores efetuam o seguimento solar a um eixo, acompanhando a movimentação do Sol no sentido Leste-Oeste. O arranjo físico da estrutura dos sistemas Lineares Fresnel ocupam 2/3 da área ocupada pelas estruturas dos sistemas de Canal Parabólico, já que as linhas não fazem sombra umas nas outras (DIENSTMANN, 2009). O funcionamento de uma central heliotérmica com refletores Lineares Fresnel é semelhante ao funcionamento das heliotérmicas do tipo Torre Solar e Canal Parabólico. O fluido de trabalho desses sistemas é geralmente água, que recebe calor dos refletores e vaporiza-se. O vapor aciona o conjunto turbina gerador, gerando energia elétrica. Os vapores de saída da turbina são condensados e redirecionados para os refletores, iniciando um novo ciclo (MARANHÃO, 2014).

#### 4.2.1.4. Sistemas de Disco Parabólico

Um refletor parabólico em forma de disco é montado em uma estrutura que efetua o seguimento solar em dois eixos e concentra os raios solares num receptor situado no foco do espelho. A estrutura dos coletores solares e o receptor movem-se juntos na medida em que o conjunto se movimenta durante o rastreamento solar. A energia solar refletida pelo Disco Parabólico é absorvida no receptor situado no foco do refletor parabólico, aquecendo o fluido de trabalho à temperatura próxima de 800°C. Tal sistema tem acoplado ao receptor um motor que opera segundo do ciclo termodinâmico de Stirling associado a um gerador, produzindo energia elétrica em consumir água. Este conjunto é conhecido como unidade de conversão de energia. O receptor utiliza como fluido de trabalho o hidrogênio ou o hélio (SILVA, 2011).

Os motores Stirling operam com o aquecimento e resfriamento de um gás ininterruptamente, movimentando um pistão. Esse tipo de sistema permite a conversão de até 30% da energia irradiante em energia elétrica, cuja potência no sistema gerador pode variar de 5 a 50 kW (DIENSTMANN, 2009). Existem dois tipos de motores Stirling: Cinemático e Pistão Livre. Os motores cinemáticos trabalham com o hidrogênio como fluido de trabalho e têm maiores eficiências do que os motores de pistão livre. Os motores de pistão livre têm o





hélio como fluido de trabalho e não produzem atrito durante a operação, o que permite a redução na manutenção requerida pelo equipamento (IRENA, 2012).

Figura 13: Sistema de Discos Parabólicos.



Fonte: EA (2015).

#### 4.2.2. *Sistemas Fotovoltaicos*

A conversão direta da energia solar em energia elétrica ocorre pelos efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores. Entre esses efeitos, destacam-se o fotoelétrico e o fotovoltaico. O primeiro caracteriza-se pelo surgimento de uma diferença de potencial, provocada pela junção de dois metais, em condições específicas. No segundo, os fótons, contidos na luz solar, são convertidos em energia elétrica, por meio do uso de células solares (BRASIL, 2008).

A palavra “fotovoltaica” vem do grego “fotos”, que significa luz, e de “Volta” (PET, 2008; & ZILLES, et al., 2012), nome do físico italiano que, em 1800, descobriu a pilha elétrica. A descoberta do fenômeno de conversão



fotovoltaica, ou efeito fotovoltaico<sup>1</sup>, remete ao século XIX, período no qual alguns estudiosos observaram fenômenos físicos que permitiam a conversão da luz em energia elétrica (ZILLES, et al., 2012), mais precisamente em 1839, quando foi observado pela primeira vez pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel que, utilizando o primeiro componente eletrônico da história (FARIAS, 2013), percebeu que uma solução de um eletrólito com eletrodos de metal, quando exposta à radiação luminosa, tem sua condutividade aumentada (ZILLES, et al., 2012). A princípio, foi confundido com o efeito fotoelétrico<sup>2</sup>, que confirmado por Heinrich Hertz em 1887, e posteriormente explicado por Albert Einstein, em 1905. Em 1873, Willoughby Smith descobre a fotocondutividade no selênio sólido e, em 1876, Adams e Day percebem que uma junção de selênio e platina desenvolve o efeito fotovoltaico quando exposta à luz solar. A partir do século XX, o desenvolvimento da tecnologia dos semicondutores possibilitou uma alavancagem no crescimento da indústria fotovoltaica, e sua expansão no mercado mundial foi acelerada com a utilização dessa tecnologia em aplicações aeroespaciais, militares e, posteriormente, para a geração de eletricidade, tanto na forma distribuída como em grandes centrais (ZILLES, et al., 2012).

Para entender como funciona o efeito fotovoltaico, é necessário saber que os semicondutores têm a sua banda de valência completamente cheia, ao passo que têm a sua banda de condução vazia, sendo o seu “band-gap<sup>3</sup>” de 1,1 eV (elétron-volt) (MORA, et al., 2010). Isso faz com que um semicondutor se comporte como um isolante a zero Kelvin (zero absoluto), ou seja, não conduz eletricidade. Contudo, com o aumento da temperatura, os elétrons absorvem energia e passam da banda de valência para a banda de condução, ou seja, o semicondutor começa a conduzir eletricidade, agindo como um condutor (BENEVIDES, et al., 2010). Por isso o nome: semicondutor.

<sup>1</sup> O **efeito fotovoltaico** é o surgimento de uma tensão elétrica em um material semicondutor, quando é exposto à luz visível. Está relacionado ao efeito fotoelétrico, mas são processos diferentes.

<sup>2</sup> O **efeito fotoelétrico** é a emissão de elétrons por um material, geralmente metálico, quando exposto à ação da luz, radiação eletromagnética de frequência alta o suficiente para que os seus fótons energizem os elétrons do material. Essa frequência depende do material.

<sup>3</sup> **Band-gap**, ou banda proibida, é a “quantidade” (ou diferença) de energia existente entre as bandas de valência e de condução do material, necessária para que os elétrons efetuem a transição da banda de valência para a banda de condução (BENEVIDES, et al., 2010).

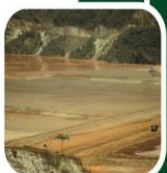
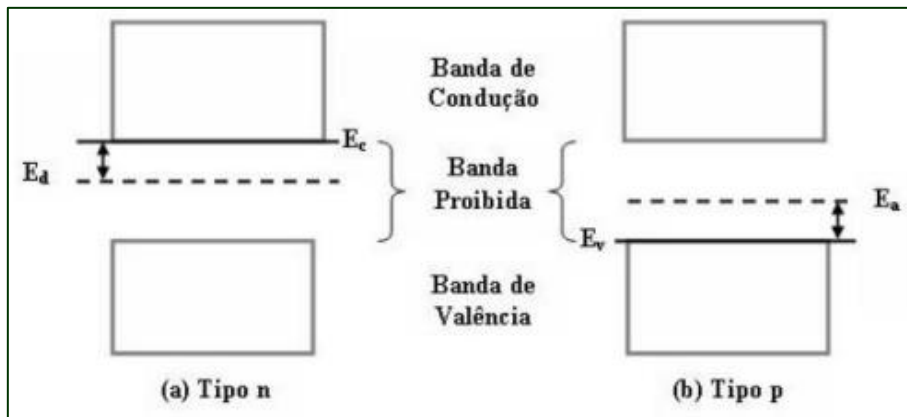
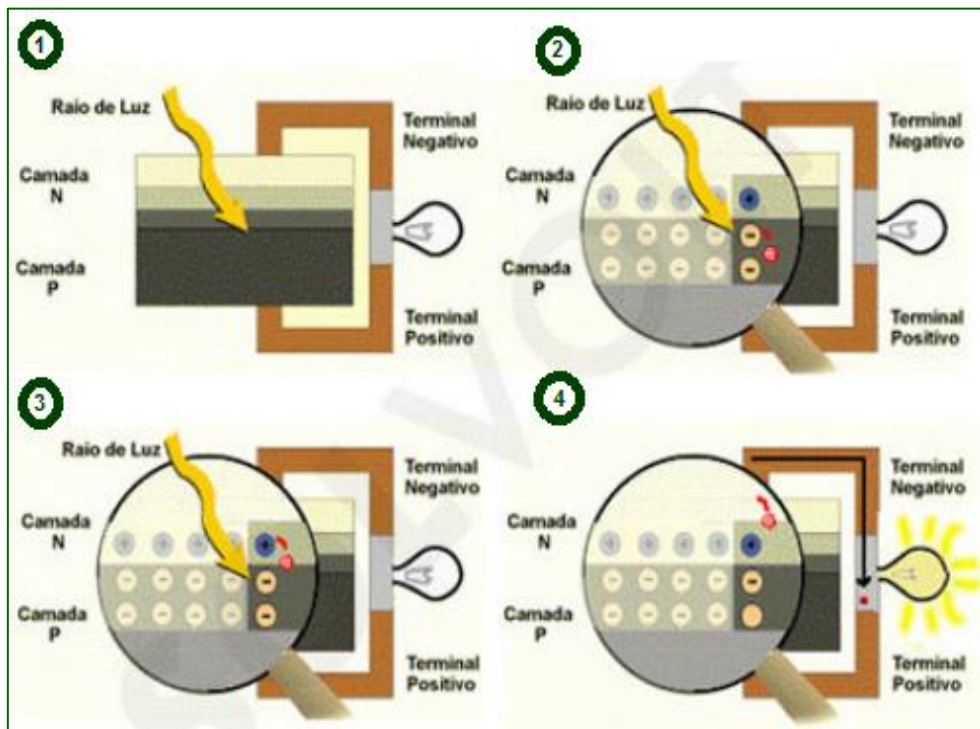


Figura 14: Representação das bandas de valência, condução, e band-gap.



Fonte: BENEVIDES, et al. (2010).

Figura 15: Efeito fotovoltaico na Junção PN.



Fonte: MORA, et al. (2010).

Para formar uma célula fotovoltaica (ou um diodo) são unidos dois tipos de semicondutores: um denominado P e outro denominado N. Na área da união, chamada de “junção - PN”, os elétrons livres do semiconductor tipo N migram para o semiconductor tipo P (MORA, et al., 2010). Esse processo não ocorre indefinidamente, pois há a formação de um campo elétrico, na área de

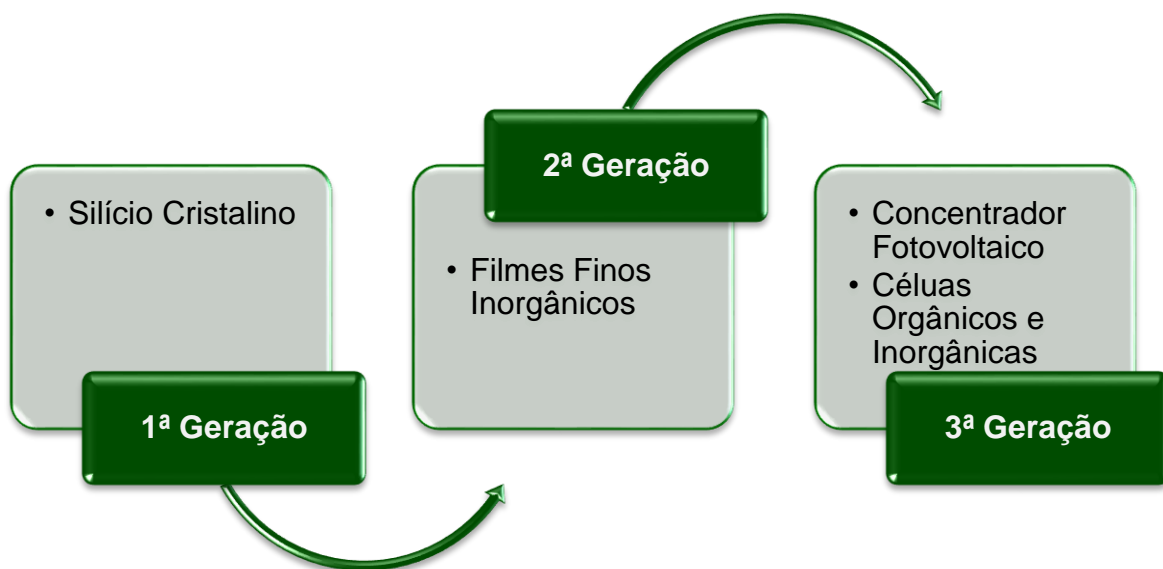


junção, que impede a continuidade de fluxo dos elétrons. Assim, ao receberem fótons de luz visível, os elétrons são energizados, mas não conseguem fluir da camada N para a camada P. Para tanto, é necessária uma ligação externa entre as duas camadas para que se possibilite o trânsito de elétrons entre as camadas e, conseqüentemente, favoreça-se o aproveitamento da corrente elétrica estabelecida desde então. Esta é a base do funcionamento de uma célula fotovoltaica (MORA, et al., 2010).

#### 4.2.2.1. Os tipos de Geradores Fotovoltaicos

As tecnologias para conversão de energia solar em energia elétrica podem ser classificadas em três gerações, conforme a Figura 16:

Figura 16: Classificação das gerações de tecnologias fotovoltaicas.



Fonte: Elaborado à partir de EPE (2012).

A 1ª Geração é baseada em silício cristalino e caracterizada por ter alto custo de produção e de instalação. Já a 2ª Geração, possui um baixo custo, mas baixa eficiência, impossibilitando, por hora, torná-la uma substituta viável às células de silício cristalino, contando ainda com o fato de que muitas das





tecnologias de 2ª Geração de fotovoltaica são compostas de materiais tóxicos e/ou raros. Por fim, a 3ª Geração abarca as tecnologias emergentes e ainda não comercializadas, sendo considerada, atualmente, como a possibilidade de associar eficiência e baixo custo (KAMAT, 2008).

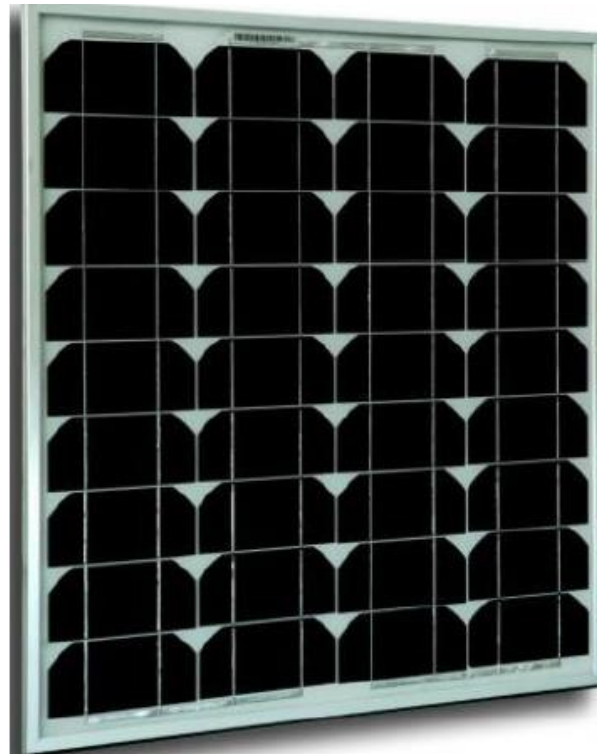
#### 4.2.2.1.1. Silício Cristalino

Os módulos de silício são a forma mais usada e comercializada no mercado mundial. A utilização do silício cristalino na fabricação de células fotovoltaicas se divide em dois grupos, os monocristalinos e os policristalinos (EPE, 2012).

Os monocristalinos são a tecnologia mais antiga, e também a mais cara. Possuem uma estrutura com finas fatias homogêneas em toda sua extensão, devido à alta pureza do silício, rígidas e quebráveis (FORTES, 2013), com eficiência entre 14% a 21% (SOLAR, 2015). Para fabricação de uma célula fotovoltaica desse grupo é necessário que o silício tenha 99,9999% de grau de pureza, sendo que a obtenção desse tipo de silício é mais cara do que a do silício policristalino, porém, tem-se maior eficiência na conversão (TIRADENTES, 2006). O painel solar de silício monocristalinos é composto por uma matriz de células fotovoltaicas em formações de série e paralelo. Tais painéis ocupam menos espaço que os policristalinos, pois, uma vez que estes painéis solares possuem uma eficiência maior eles necessitam de menos espaço para gerar a mesma quantidade de energia elétrica.

A vida útil dos painéis monocristalinos é maior que 30 anos e, geralmente, têm garantia de 25 anos. Tendem, ainda, a funcionar melhor do que painéis solares policristalinos em condições de pouca luz. Como desvantagem, uma quantidade significativa do silício não é aproveitada na célula e precisa ser reciclado (SOLAR, 2015).

Figura 17: Módulo Fotovoltaico de silício monocristalinos.



Fonte: FORTES (2013).

Os policristalinos possuem uma estrutura mais heterogênea, com finas fatias de silício compostas por pequenos cristais, rígidas e quebráveis, de cor azulada e não uniforme, com eficiência de 13% a 15% (FORTES, 2013). Apesar das particularidades, as técnicas de fabricação de células policristalinas são basicamente as mesmas de fabricação das células monocristalinas. Contudo, os gastos de energia requeridos são menores, bem como, o rigor no controle do processo de fabricação (EPE, 2012). Os primeiros painéis solares à base de silício policristalino, que também são conhecidos como polisilício (p-Si) e silício multi-cristalino (mc-Si), foram introduzidos no mercado em 1981. A quantidade de silício residual gerada durante o processo de corte das células fotovoltaicas de silício policristalino é menor em comparação com monocristalinos. Por isso, tais painéis tendem a ser um pouco mais baratos que os painéis solares monocristalinos e sua vida útil é maior que 30 anos, tendo, geralmente, garantia de 25 anos (SOLAR, 2015).



Figura 18: Módulo Fotovoltaico de silício policristalinos.



Fonte: FORTES (2013).

#### 4.2.2.1.2. Filmes Finos Inorgânicos

As células de filmes finos são produzidas por meio de um processo de depósito de camadas extremamente finas de material semicondutor. São revestidas de proteção mecânica, como vidro ou plástico. Os materiais semicondutores comercialmente utilizados na fabricação dos filmes são silício amorfo (a-Si), telureto de cádmio (CdTe) ou disseleneto de cobre índio gálio (CIGS), e as células solares fotovoltaicas orgânicas (OPV). Atualmente, em 2015, os painéis fotovoltaicos que utilizam a tecnologia de filme fino representam aproximadamente 20% do mercado mundial de painéis solares fotovoltaicos (SOLAR, 2015). Os filmes finos de silício amorfo são fabricados por um processo denominado “empilhamento”, que é a deposição de finas camadas de materiais sobre uma base rígida e flexível, podendo ser produzidos em qualquer dimensão (FORTES, 2013), com eficiência de 6% a 9% (SOLAR, 2015). Como no caso dos policristalinos, as células de silício amorfo não apresentam estrutura cristalina definida e ordenada, predominando o alto grau de desordem na estrutura dos átomos (TIRADENTES, 2006).

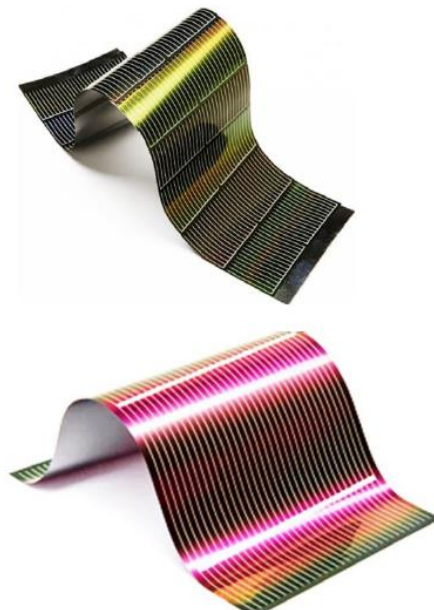
Figura 19: Módulo Fotovoltaico de Filme Fino de silício amorfo.



Fonte: FORTES (2013).

Os filmes finos de telureto de cádmio (CdTe) e os de disseleneto de cobre índio gálio (CIGS) diferenciam-se dos de silício amorfo por se tratar de materiais mais raros, portanto os custos são mais elevados, tendo cores diversas e com eficiência em torno de 8,5% (FORTES, 2013).





Figura 20: “Módulo Fotovoltaico” de Filme Fino.



Fonte: FORTES (2013).








Telureto de cádmio é a única tecnologia de painéis solares de película fina que superou, até o momento, o custo/eficiência de painéis solares de silício cristalino, tendo uma parcela significativa do mercado mundial de painéis solares. A eficiência destes painéis opera normalmente na faixa de 9-11%. As instalações com os painéis de CdTe são tipicamente de grande porte (usinas solares fotovoltaicas) (SOLAR, 2015). Já as células solares do tipo CIGS mostraram o maior potencial em termos de eficiência. Estas contêm menos quantidades de cádmio (material tóxico que é encontrado em células solares de CdTe) e seus índices de eficiência operam na faixa de 10 -12%, sendo que já existem alguns painéis passando dos 13% (SOLAR, 2015). Por serem depositados sobre diversos tipos de substratos de baixo custo (plásticos, vidros e metais), os filmes finos constituem tecnologia de baixo custo. Quando comparado com as formas cristalinas do silício, o gasto de energia na fabricação de células de filme fino é menor, bem como a eficiência na conversão da energia, o que é um fator negativo. Painéis solares de filme fino, em geral, não são utilizados em sistemas fotovoltaicos residenciais, pois, mesmo sendo mais baratos, eles exigem grandes áreas para instalação. Isso se deve devido a menor eficiência por m<sup>2</sup>, significando, ainda, que os seus custos com estruturas de instalação, mão-de-obra e cabeamento tendem a aumentar. Uma desvantagem é que painéis solares de filme fino tendem a degradar mais rapidamente do que os painéis solares mono e policristalinos, e é por isso que eles geralmente vêm com uma garantia mais curta. Além disso, a eficiência da conversão nessa tecnologia diminui mais acentuadamente logo nos primeiros meses após a instalação, embora seja menos afetada por temperaturas mais elevadas. Todavia, muitos tipos de células solares de película fina estão em fase de Pesquisa e Desenvolvimento (SOLAR, 2015).

#### 4.2.2.1.3. Concentradores Solares Fotovoltaicos (CPV)



Os concentradores solares fotovoltaicos (*CPV - Concentrated PhotoVoltaics*) basicamente usam lentes para focalizar o Sol, projetando uma



intensidade de luz equivalente a centenas de vezes a incidência normal do Sol, aplicando o foco sobre células solares de alta eficiência. Esses sistemas tipicamente utilizam matrizes de lentes individuais que focam diretamente em células fotovoltaicas individuais, numa relação uma para uma entre lentes e células. Isso exige um alinhamento preciso e a conexão das diversas células (SILVEIRA, 2003). Os concentradores associam células solares com uma eficiência de conversão de cerca de 40% a um sistema avançado de lentes, permitindo uma solução de geração de energia por fonte solar economicamente viável, fisicamente modular e otimizada e de baixo custo. Alguns sistemas são formados por refletores que concentram a luz solar até 500 vezes sobre as células (500 Sol), sendo que alguns modelos usam apenas 1/1000 do material semicondutor utilizado nos painéis fotovoltaicos convencionais, tendo ainda mais do dobro da eficiência das convencionais células de silício, contribuindo para a redução da distância existente entre os custos de geração por fonte solar e por combustíveis fósseis (EUROPA PRESS, 2008). A quase totalidade das células solares fabricadas atualmente não utilizam concentradores de luz, captando apenas a luz que naturalmente incidente sobre elas. O recorde de eficiência em células fotovoltaicas pertence àquelas utilizadas nos painéis solares dos satélite artificiais e da Estação Espacial Internacional, que atingem 28% de eficiência. Com os concentradores solares, há possibilidades já testadas de se alcançar eficiências de 40% ou mais, que possibilitarão a construção de usinas solares com um custo de investimento competitivo (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2006; & EUROPA PRESS, 2008).



Figura 21: Concentrador Solar Fotovoltaico.



Fonte: EUROPA PRESS (2008).

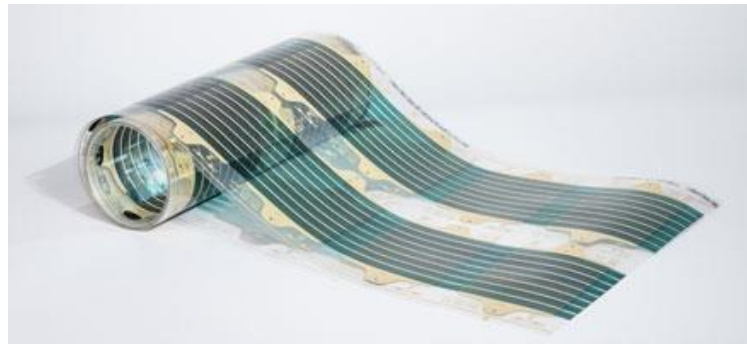
#### 4.2.2.1.4. Células Orgânicas e Inorgânicas

As células solares de terceira geração são principalmente de três tipos: as células solares orgânicas (OPV - *Organic Photovoltaic*), as células solares sensibilizadas por corantes (DSSC – *Dye-Sensitized Solar Cell*) (VASCONCELOS, 2013) e as células solares baseadas em pontos quânticos (QD – *Quantum Dots*) (MACHADO e MIRANDA, 2014).

As OPV são um tipo de célula solar de polímero (materiais semicondutores à base de carbono) que usa a eletrônica orgânica, um ramo da eletrônica que lida com polímeros orgânicos condutores ou pequenas moléculas orgânicas, para absorção de luz e transporte de carga para a produção de eletricidade a partir da luz solar, pelo efeito fotovoltaico. As OPV são formadas pela junção de duas camadas principais: uma exerce a função de doadora de elétrons (polímeros conjugados, como o poli (3-hexiltiofeno), são comumente utilizados); enquanto a outra camada tem a função de receptora de elétrons (os fulerenos, como o éster metílico do ácido [6,6]-fenil-C61-butírico, são os mais comumente utilizados) (MACHADO e MIRANDA, 2014). Este tipo

de célula solar foi idealizada como uma tecnologia fotovoltaica flexível, de baixo custo, feita por processos de impressão, em máquinas simples e com materiais abundantes. Atualmente, são poucas as empresas que conseguiram levar a produção de células fotovoltaicas orgânicas (OPV) para uma escala industrial. Um dos processos industriais usados na fabricação deste tipo de células é o chamado impressão em rolo (*roll to roll*), que é a impressão de células fotovoltaicas orgânicas em substrato leve, flexível e transparente. As eficiências das células orgânicas variam (SOLAR, 2015).

Figura 22: Célula solar do tipo OPV.



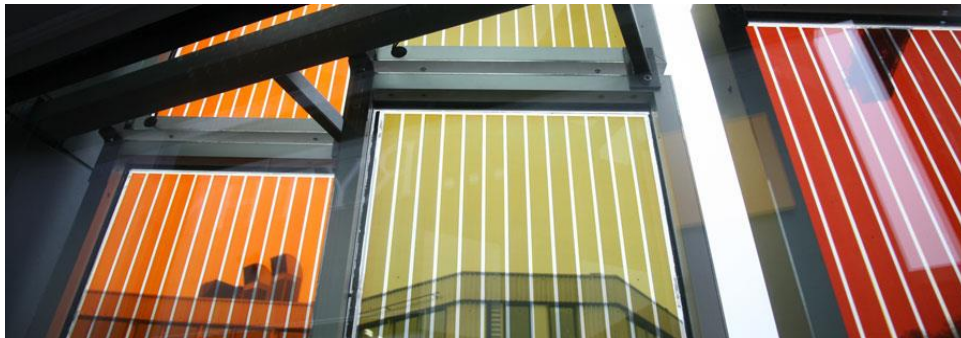
Fonte: MERCK (2015).

Já as DSSC funcionam por meio de reações químicas de oxirredução. São também chamadas de “híbridas”, pois são feitas de materiais orgânicos e inorgânicos, elas são construídas entre dois vidros e contém um eletrólito líquido, normalmente uma solução composta por um sal de iodo. As células ativadas por corantes (geralmente complexos de rutênio) (MACHADO e MIRANDA, 2014) absorvem a radiação solar, permitindo o fenômeno da separação das cargas (positivas e negativas) para a produção de energia elétrica. Ainda não há células DSSC comercializadas em larga escala no mundo (VASCONCELOS, 2013).





Figura 23: Célula solar do tipo DSSC



Fonte: MERCK (2015).

As QDs são nanopartículas ou nanocristais de material semicondutor de dimensão que varia de 2 a 10 nm, com elementos do grupo II-VI (CdSe, CdTe, CdS, ZnSe, ZnO, etc) ou III-V (InP, InAs) (MANSUR, 2010) com propriedades distintas, como: elevada absorção, fotoestabilidade, larga região do espectro de excitação com estreitas bandas de emissão e baixa tendência de fotodegradação. As QD baseiam-se na utilização de “quantum dots”, que são nanocristais semicondutores com tamanhos reduzidos o suficiente para apresentar propriedades quânticas, bem como propriedades óptico-eletrônicas especiais, pois possuem densidades de estado semelhantes à de átomos. Com a diminuição do tamanho dos QDs, aumenta-se seu grau de confinamento. Como resultado, a recombinação do par elétron-buraco (éxciton) fica mais intensa e, conseqüentemente, ocorre um aumento na diferença entre a banda de valência e a banda de condução (*band gap* de energia). Há, pois, a possibilidade de controlar o *band gap* de energia e o comprimento de onda de emissão, pelo ajuste do tamanho dos QD (ALIVISATOS, 1996). Pode-se subdividi-las em três tipos: a) metal-semicondutor (ou junção Schottky); b) células orgânicas e c) células solares sensibilizadas por pontos quânticos (QDSSC - *Quantum Dots Sensitized Solar Cells*) (KAMAT, 2008). O que diferencia cada tipo é a utilização dos “*quantum dots*”. As células QD metal-semicondutor são caracterizadas pelo fato de o efeito fotovoltaico acontecer na interface entre o metal e os “*quantum dots*”. Essas células podem ser do tipo TiO<sub>2</sub>/Au, CdS/Au, CdSe/Au, PbS/ITO, por exemplo. Já nas células QD orgânicas, o efeito fotovoltaico ocorre na interface entre um polímero e os

nanocristais, como por exemplo, a junção poli (3-hexiltiofeno)/CdS. Por fim, nas células QD sensibilizadas o efeito fotovoltaico ocorre na interface entre os nanocristais e um semicondutor, como nanocristais de CdS ou CdSe injetando elétrons em semicondutores ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SnO}_2$  ou  $\text{ZnO}$ , entre outros) (MACHADO e MIRANDA, 2014).


Figura 24: Célula solar do tipo QD






Fonte: AHMED (2015).

A fabricação com baixo consumo de energia e o reduzido custo de manufatura são as principais vantagens das células de filmes finos orgânicos. No caso dos sistemas feitos de OPV, por exemplo, o *payback* energético pode ser menor que um ano, enquanto que para os painéis fotovoltaicos de silício cristalino, o *payback* é em torno de quatro anos. Há ainda, a possibilidade de fabricação de grandes painéis flexíveis, feitos de plástico ou tecido, por meio de métodos simples de impressão da indústria gráfica, permitindo a produção de módulos solares leves e dos mais variados tamanhos, o que caracteriza uma considerável vantagem. Enfatiza-se ainda que as células orgânicas e as sensibilizadas por corantes têm alta fotoconversão usando luz artificial, o que possibilita seu emprego em ambientes internos, como residências, escritórios e fábricas, bem como mobiliário urbano. Por serem leves, flexíveis e semitransparentes, o leque de aplicações das células OPV e DSSC é mais amplo do que o das gerações anteriores. Elas podem ser usadas para





recarregar baterias de equipamentos eletrônicos de baixa potência. Também podem ser integradas à arquitetura em fachadas, janelas ou claraboias de edificações, ou ainda em peças de vestuário e acessórios, permitindo que o usuário colete energia enquanto se desloca e durante suas atividades do dia-a-dia (VASCONCELOS, 2013).



Contudo, estas tecnologias apresentam baixa eficiência e reduzido tempo de vida útil, bem como a baixa taxa de conversão da energia luminosa em energia elétrica. Todavia, o índice de eficiência máximo já obtido, mas não certificado, para as células OPV foi de 12,1% e para as DSSC, de 9% (MACHADO e MIRANDA, 2014). As células ainda apresentam baixa eficiência, em torno de 1%, podendo se encontrar casos de 3 a 5% (MACHADO e MIRANDA, 2014). Esses valores se referem a células pequenas e deve-se considerar que, em painéis de grande área, a eficiência de conversão cai fortemente. O baixo rendimento das células orgânicas se explica pela não absorção de luz na região do infravermelho, com comprimento de onda superior a 900 nanômetros, e por perdas de energia acarretadas por recombinação de cargas elétricas. Já a reduzida vida dessas células é resultado da presença de oxigênio ou umidade dentro delas. Com a incidência da luz, especialmente a parcela ultravioleta (UV), a presença de oxigênio e umidade dá origem a elementos indesejados que reagem com os semicondutores orgânicos alterando a sua estrutura química e funcionalidade. Uma dificuldade com relação às DSSC está relacionada à confiabilidade, à durabilidade e ao processo de engenharia na construção (VASCONCELOS, 2013). Contudo, novos compostos de coordenação vêm sendo desenvolvidos com a finalidade de otimizar a eficiência das DSSCs, bem como pesquisas relacionadas à substância usada como eletrólito e as superfícies dos eletrodos (MACHADO e MIRANDA, 2014).

#### 4.2.2.2. Componentes de Sistemas de geração Fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos são compostos por uma série de equipamentos e materiais periféricos, sejam principais ou auxiliares. Para este trabalho, o tipo de gerador escolhido é o de 1ª Geração, mais usual no Brasil. Os principais componentes de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede são:

- Gerador fotovoltaico, que se trata de vários módulos fotovoltaicos dispostos em série e em paralelo, com estruturas de suporte e de montagem;
- Caixa de junção, equipada com dispositivos de proteção e interruptor de corte principal CC;
- Cabos CA-CC;
- Inversor;
- Mecanismo de proteção e aparelho de medida.

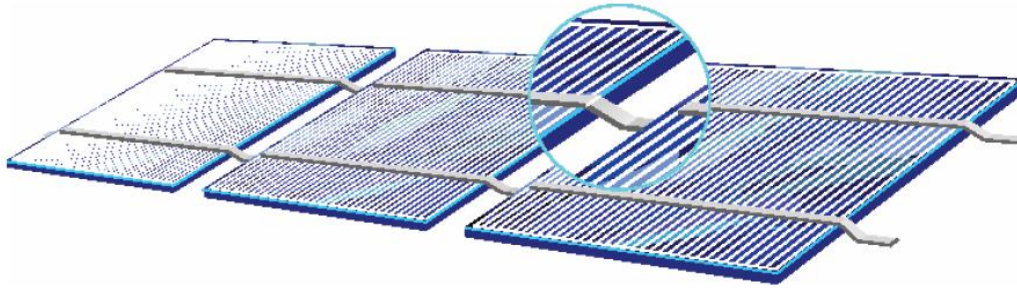
##### 4.2.2.2.1. Módulos/painéis fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos, também chamados de painéis fotovoltaicos, são os principais equipamentos dos sistemas de conversão de energia solar em energia elétrica. Sua estrutura é composta por um conjunto de células solares, conectadas em série entre si, isso devido à reduzida potência destas células. Desta forma, os contatos frontais (polo negativo) de cada célula são conectados aos contatos posteriores (polo positivo) da célula seguinte; os terminais das extremidades são estendidos ao exterior de forma a possibilitar as ligações elétricas posteriores.





Figura 25: Conexão de células fotovoltaicas.



Fonte: ALTENER (2004).

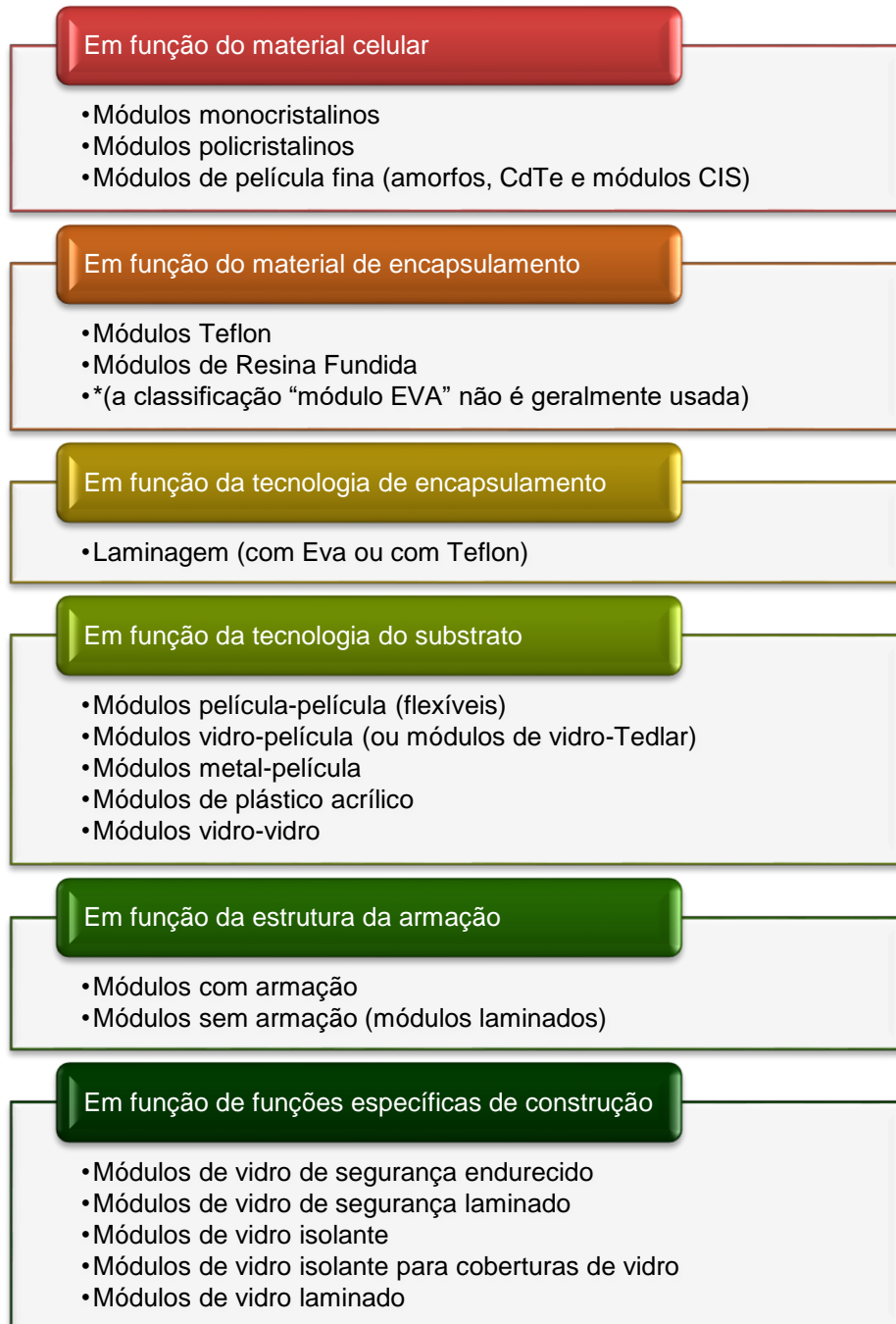
Para proteção das células quanto às tensões mecânicas e às ações de agentes externos, atmosféricos e da umidade, os módulos são encapsulados, geralmente por três tipos diferentes: por etileno vinil acetato (EVA), por Teflon ou por resina fundida. Para estabilizar a estrutura, o material de encapsulamento é aplicado a um substrato (vidro, plástico acrílico, metal, etc).

Os principais parâmetros que caracterizam os módulos fotovoltaicos são obtidos a partir da curva característica e são descritos a seguir (ASSUNÇÃO, 2014):

- Corrente de curto - circuito ( $I_{sc}$ ): é a corrente que flui quando, ainda sem as conexões de qualquer equipamento, ligam-se diretamente os terminais positivo e negativo de um módulo (tensão é zero);
- Tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ): é a diferença de potencial medida entre os terminais positivo e negativo do módulo quando está submetida à radiação solar e sem nenhuma carga acoplada;
- Ponto de potência máxima (MPP): é o ponto de operação no qual a potência entregue alcança seu maior valor. Suas respectivas corrente e tensão nesse ponto são  $I_{MPP}$  e  $V_{MPP}$ ;
- Fator de Forma (FF): é definido pela relação entre a potência no MPP e aquela que é produto da  $I_{sc}$  pela  $V_{oc}$ . Seus valores mais comuns e usuais estão entre 70 a 80 %;
- Eficiência ( $\eta$ ): é a relação entre a potência no MPP e a potência total da luz incidente.

Comercialmente, os módulos podem ser classificados da seguinte forma:





Figura 26: Classificação dos módulos fotovoltaicos.



Fonte: Adaptado de ALTENER (2004).



#### 4.2.2.2.2. Caixa de junção



A caixa de junção geral do gerador reúne terminais, aparelhos de corte e, se necessário, fusíveis de fileira e díodos de bloqueio das fileiras. É comum que também seja instalado um descarregador de sobretensões, que serve para desviar as sobretensões para a terra, sendo esta a principal razão pela qual o condutor de terra é ligado à caixa de junção geral. Em alguns casos, ainda, há também um interruptor principal DC. A caixa de junção deve ter proteção classe II, além de ter os terminais positivo e negativo claramente separados em seu interior. No caso de instalações externas, deve estar protegida, no mínimo, com proteção IP 54 (ALTENER, 2004).

As fileiras individuais são ligadas entre si na caixa de junção geral do gerador. Ademais, são ainda ligados o cabo principal DC e o condutor de ligação equipotencial, caso haja necessidade. Assim, os fusíveis de fileira têm a função de proteger os cabos contra possíveis sobrecargas, devendo ser concebidos de forma a funcionar em DC. Assim, atualmente os díodos de bloqueio das fileiras são suprimidos em sistemas fotovoltaicos conectados à rede, o que é garantido por estudos realizados pelo Instituto Fraunhofer para sistemas de Energia Solar ISE, que demonstram que alguns tipos de módulos chegam a suportar correntes inversas de até sete vezes a corrente de curto-circuito, sem serem danificados (ALTENER, 2004). Tem-se ainda que, conforme o estabelecido na norma IEC 60364-7-712, os díodos de bloqueio de cada fileira não são necessários, se forem usados módulos do mesmo tipo, desde que com uma proteção de classe II, certificados para suportar 50 % da corrente nominal de curto-circuito, quando polarizados inversamente, e que, no caso do desvio da tensão do circuito aberto entre as diferentes fileiras individuais do gerador fotovoltaico, não seja superior a 5 % (ALTENER, 2004).

Para proteger os módulos e os cabos das fileiras das sobrecargas, são intercalados fusíveis de fileira em todos os condutores ativos (positivos e negativos). Se não se utilizarem fusíveis de fileira, os condutores de fio devem



ser dimensionados para a máxima corrente de curto-circuito do gerador, menos a corrente da fileira (ALTENER, 2004).

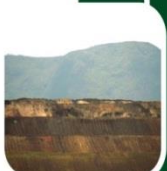
#### 4.2.2.2.3. Inversores

O inversor, também é conhecido como conversor DC/AC, estabelece a ligação entre o gerador fotovoltaico e a rede AC ou a carga AC. A sua principal tarefa consiste em converter a corrente contínua (DC) gerada nos módulos fotovoltaicos em uma corrente alternada (AC), e ajustá-la para a frequência e o nível de tensão da rede a que está conectado. Com o desenvolvimento dos sistemas modernos, especialmente os dispositivos eletrônicos, há perdas relativamente pequenas envolvidas neste processo de conversão de corrente (ALTENER, 2004).


Dependendo da aplicação, existe uma distinção entre os inversores utilizados em sistemas conectados à rede (inversores de rede) e em sistemas autônomos (inversores autônomos). Nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede, o inversor é ligado à rede elétrica principal de forma direta, ou seja, a eletricidade produzida é injetada diretamente na rede elétrica pública. Dependendo do seu princípio operacional, os inversores para ligação à rede podem dividir-se em inversores comutados pela rede (sincronizados pela rede) e em inversores autocontrolados (ALTENER, 2004).

Os sistemas fotovoltaicos com uma potência instalada até 5 kWp, ou com uma dimensão inferior a 50 m<sup>2</sup>, geralmente caracterizam-se por sistemas monofásicos. Já para sistemas maiores e mais robustos, a alimentação é trifásica, e é ligada ao sistema de alimentação trifásico. Para esta aplicação, os inversores centrais trifásicos equipados com tiristores são frequentemente usados. Contudo, é cada vez mais frequente a utilização de vários inversores monofásicos, que são distribuídos de forma equilibrada entre as três fases (ALTENER, 2004).

Com o objetivo de fornecer à rede elétrica a maior potência possível, o inversor deve funcionar no ponto de máxima potência (MPP) do gerador fotovoltaico, tendo em consideração que este, para um sistema fotovoltaico,









muda de acordo com as condições meteorológicas. No inversor, o sistema de rastreamento MPP garante que o mesmo seja constantemente ajustado ao ponto MPP. O sistema de rastreamento MPP consiste, basicamente, em um conversor DC ligado em série com o inversor, e que ajusta a tensão de entrada do inversor em função do nível de tensão MPP (ALTENER, 2004).


#### 4.2.2.2.4. Cabos



Em um sistema solar fotovoltaico há a composição de uma série de cabos elétricos que interligam os subsistemas que o integram. A fiação do sistema é o que promove o fluxo de energia entre eles e seus componentes, possibilitando a utilização da energia solar convertida em energia elétrica. Para a instalação elétrica de um sistema fotovoltaico, devem ser usados apenas cabos que cumpram os requisitos para esta aplicação. É, pois, necessário distinguir entre os cabos de módulo ou de fileira, cabo principal DC e cabo do ramal AC (ALTENER, 2004).



Designam-se por “cabos de módulo” ou “cabos de fileira”, os condutores que estabelecem a ligação elétrica entre os módulos individuais à caixa de junção do sistema ou subsistema. Tais cabos geralmente são instalados no exterior. Uma característica importante é que, para garantir maior proteção contra a ocorrência de falhas de terra, bem como de curtos-circuitos, os condutores positivos e negativos não são colocados lado a lado em um mesmo cabo. A experiência tem demonstrado que os cabos monocondutores, com isolamento duplo, constituem a solução mais adequada, pois oferecem um nível mais elevado de segurança. Todavia, a versão standard deste tipo de cabo permite temperaturas máximas de 60°C, valor inferior ao geralmente aferido por fabricantes de telhados solares, que é de até 70°C no telhado. Assim, recomenda-se o uso de “cabos solares” nas aplicações externas, uma vez que suas principais características são: a resistência aos raios ultravioletas e ao clima, sendo apropriados a um amplo espectro de temperaturas (entre -55°C e 125°C) (ALTENER, 2004).





Os tipos de cabo já mencionados, também são comumente usados como cabo principal DC, que é aquele que estabelece a ligação entre a caixa de junção do gerador e o inversor. Se a caixa de junção do gerador estiver localizada no exterior, estes cabos devem ser entubados, visto que não são resistentes aos raios ultravioletas. Preferencia-se, sempre que possível, que não se faça o uso de cabos de policloreto de vinila (PVC) em áreas externas. O material halogeneizado PVC é frequentemente utilizado nas instalações elétricas, mas aconselha-se que, tendo em consideração os impactos ambientais, deve-se escolher produtos isentos de halogêneos. Desta forma, incluindo razões associadas à proteção contra falhas de terra e curtos-circuitos, indica-se o uso de cabos monocondutores isolados para as linhas positiva e negativa. Caso sejam usados cabos multicondutores, o condutor de proteção não deverá estar sujeito a qualquer tensão. No caso de instalações fotovoltaicas expostas ao risco de incidência de relâmpagos, deve-se usar cabos blindados. É importante que os cabos sejam roteados de modo que a sua integridade mecânica nunca seja posta em causa. Por fim, deve-se ser sempre possível isolar os condutores da tensão da linha principal DC, sendo que, usualmente, o interruptor principal DC e os pontos de isolamento da caixa de junção do gerador têm assegurado esta função (ALTENER, 2004).

O cabo de ramal ou de ligação de corrente alternada (AC) tem a função de ligar o inversor à rede receptora, por meio de equipamento de proteção. Para o caso dos inversores trifásicos, a ligação à rede de baixa tensão é efetuada com um cabo de cinco polos, já para os inversores monofásicos é usado, geralmente, um cabo de três polos (ALTENER, 2004).

As especificações dos tipos de cabos a serem utilizados dependem do tipo de painel solar a ser instalado. Devem-se considerar, também, as distâncias entre os componentes do sistema, sabendo que há uma distância máxima permitida entre dois pontos a serem conectados, para que não haja uma queda de tensão que minimize a eficiência do sistema. Desta forma, indica-se sempre buscar situar os componentes dentro das menores distâncias possíveis, de maneira a minimizar as perdas energéticas durante o trajeto.



Sabe-se, ainda, que todos os condutores devem ser de cobre e com isolamento termoplástico.

Para a instalação dos cabos, são necessários materiais de fixação apropriados, que devem ser resistentes aos agentes atmosféricos, como chuvas e ventos. As opções mais baratas destes materiais de fixação são as braçadeiras.

#### 4.2.2.2.5. Equipamentos de segurança e proteção

Elementos indispensáveis ao bom funcionamento de um sistema fotovoltaico são as proteções contra descargas atmosféricas, os disjuntores e os fusíveis. Atendendo ao custo dos painéis fotovoltaicos, eles devem ser protegidos de forma a evitar o máximo de degradação, dentre as quais destacam-se aquelas causadas por:

- Perturbações induzidas pela comutação dos conversores de potência;
- Funcionamento como receptor, quando os painéis degradam-se rapidamente ao absorverem energia devido à inversão de corrente;
- Descargas atmosféricas.

Os disjuntores são aparelhos de proteção contra sobre intensidades, que podem voltar a ser rearmados após serem disparados. Tais equipamentos isolam, automaticamente, o sistema fotovoltaico da rede elétrica, caso ocorra uma sobrecarga ou um curto-circuito e são, pois, frequentemente usados como interruptores AC. Tem-se, ainda, o sistema MSD, que consiste em dois dispositivos independentes de monitorização da rede AC, cada um deles com um aparelho de corte automático alocado, estando estes dois interruptores ligados em série entre si (ALTENER, 2004).

Estes são, pois, os principais e mais usuais equipamentos e dispositivos usados em sistemas solares fotovoltaicos.


### 4.2.2.3. Estado da Arte

A conversão da energia solar em energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico, observado por Edmond Bequerel em 1839, só foi impulsionada pelos avanços nas descobertas da microeletrônica, tendo como marco o ano de 1956, quando foram construídas as primeiras células fotovoltaicas industriais. Todavia, o elevado custo de fabricação inviabilizava sua utilização prática a não ser em aplicações mais específicas e nobres, como em equipamentos especiais, atuando como sistema autônomo de fornecimento de energia elétrica para satélites espaciais, cujos altos orçamentos empregados suavizavam o ônus. Neste caso, o custo não era um fator limitante, e as características de confiabilidade e de baixo peso tornaram as células fotovoltaicas a maneira mais conveniente e segura de gerar eletricidade no espaço. Com o passar dos anos, dada a comprovação das características e desempenho das células fotovoltaicas em equipamentos espaciais, esta tecnologia foi sendo empregada em estações remotas de telecomunicações para o fornecimento de energia elétrica dos seus sistemas.


O principal problema da tecnologia de módulos solares fotovoltaicos sempre foram os altos custos. Até a década de 1970 sua utilização era restrita a aplicações bem características. A utilização de células fotovoltaicas como geradoras de eletricidade para aplicações diversas, inclusive para complementação do sistema elétrico existente, começou a ser concebida com o advento da crise do petróleo em 1973 (FRANCO, 2013), quando a energia solar fotovoltaica passou a receber importantes investimentos (MARTINS, 2000), tanto do setor público, por meio de programas de incentivos dos governos, como de empresas do setor privado, que viram despontar nesta tecnologia uma boa oportunidade para investimentos rentáveis. Desta forma, a produção mundial de tecnologias fotovoltaicas, bem como sua demanda, cresceram consideravelmente, logo os custos da geração fotovoltaica de energia elétrica diminuíram expressivamente (SIEMENS, s.d.). Dado este decréscimo dos custos, houve maior acessibilidade aos sistemas fotovoltaicos que começaram a ser implantados principalmente em lugares remotos e de









clima inóspito. Mas o custo de produção das células era um fator preocupante em relação à quantidade de energia produzida por ela. Era preciso reduzir o custo significativamente. Por isso, o desenvolvimento do mercado foi muito lento. Mas em 1978 a produção já chegava a 1 MW<sub>p</sub>/ano. Com o aumento da escala de produção e a pesquisa de tecnologia em materiais usados na fabricação das células o custo e o preço começaram a diminuir. Após quinze anos a produção já alcançava 60 MW<sub>p</sub>/ano.



No entanto, quando o preço do petróleo voltou a cair, a crise energética deixou de assustar o mercado, e os investimentos na área de energia solar foram drasticamente reduzidos, fazendo com que o preço das células caísse drasticamente, com certa estabilidade. Porém, um novo fator continuou impulsionando a indústria: o fortalecimento dos movimentos de defesa do meio ambiente e o conseqüente incentivo de alguns países, principalmente a Alemanha, para a instalação de geradores fotovoltaicos conectados à rede elétrica.



A década de 1990 marcou um certo desenvolvimento acelerado da indústria fotovoltaica, que objetivava a ampliação dos horizontes para utilização em massa da energia solar como opção energética. Diversos programas foram lançados pelo mundo para a demonstração da viabilidade técnica-econômica da energia solar fotovoltaica em projetos de eletrificação rural nos países em desenvolvimento, por exemplo. Em 1996, a produção já ultrapassava 80 MW<sub>p</sub>/ano. A partir de 1997 o crescimento se acelerou muito passando a taxa acima de 30% ao ano. Em 2004, a produção já atingia 1 GW<sub>p</sub>/ano chegando em 2010 a ultrapassar 15 GW<sub>p</sub>/ano. E tudo indica que tal ritmo de crescimento se manterá nos próximos anos, conforme pode ser observado na Figura 27.

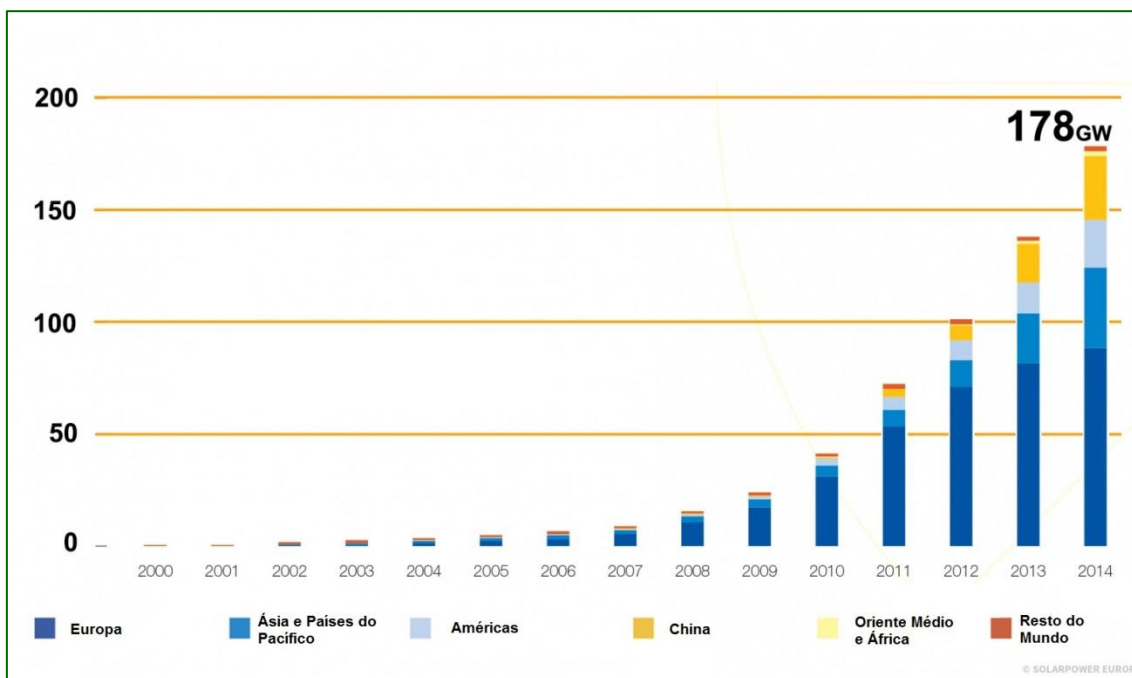


Atualmente um dos maiores desafios que o setor enfrenta é a redução de custos dos sistemas fotovoltaicos. As novas tecnologias em desenvolvimento, principalmente a dos filmes finos e as nanotecnologias, poderão provocar reduções significativas nos custos desta tecnologia. É fato que o baixo nível cultural e econômico da maior parte das populações tende a limitar o desenvolvimento do mercado.



A energia solar fotovoltaica tem como “vocação” a utilização em pequenas instalações (pequenas cargas) que a torna, econômica, eficiente e segura. O Brasil dispõe de um dos maiores potenciais do mundo para o aproveitamento de energias renováveis principalmente a energia solar, e além de ecologicamente correto, é uma fonte inesgotável de energia.


Figura 27: Produção mundial de células fotovoltaicas em GW.



Fonte: Adaptado de SPE (2014).


Atualmente já foram desenvolvidas diversas tecnologias para fabricação de sistemas solares fotovoltaicos, entre elas: Silício monocristalino, Silício policristalino, Silício amorfo, Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio – CIGS –, Telureto de Cádmi (CdTe) e Semicondutores Orgânicos. Os módulos de silício são os mais utilizados no mundo, provavelmente permanecendo assim pelos próximos 15 anos (CGEE, 2010).

## 5. MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA






A forma como funciona o chamado “Mercado de Energia Elétrica” no Brasil é bem diverso dos demais países, sendo necessário entender o Setor Elétrico Brasileiro – SEB –, que também possui um modelo de operação diferenciado. É conhecido que, no país, há um enorme potencial energético a ser explorado, com destaque às fontes renováveis, o que implica constantes inovações tecnológicas e regulatórias.

### 5.1. Ambientes de contratação de Energia



O Mercado de Energia Elétrica brasileiro está estruturado de forma a garantir a segurança no suprimento, além de incentivar a expansão da geração e proporcionar a diversificação da matriz energética, sem deixar de atender a demanda dos consumidores ao menor custo (CCEE, 2015). No modelo vigente, desde 2004, as relações comerciais se estabelecem em duas esferas:

- 
- 
- **Ambiente de Contratação Regulada (ACR):** onde a compra e venda de energia é formalizada mediante contratos bilaterais regulados, denominados Contratos de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulador – CCEAR -, celebrados entre os geradores e os distribuidores, que participam dos chamados “leilões de compra e venda de energia”. Tais contratos têm regulação específica para alguns aspectos, como preço da energia, submercado de registro do contrato e vigência de suprimento, não passíveis de alterações bilaterais pelos agentes.
  - **Ambiente de Contratação Livre (ACL):** onde os atores (geradores, comercializadores, importadores e exportadores de energia e consumidores livres e especiais) têm liberdade para negociar e estabelecer em contratos os volumes de compra e venda de energia e seus respectivos preços.
- 

As principais diferenças existentes nos dois ambientes de contratação estão sintetizadas na Tabela 2:

Tabela 2: Diferença entre os ambientes de contratação.

	<b>Ambiente de Contratação Livre (ACL)</b>	<b>Ambiente de Contratação Regulada (ACR)</b>
<b>Participantes</b>	Geradoras, comercializadoras, consumidores livres e especiais	Geradoras, distribuidoras e comercializadoras. As comercializadoras podem negociar energia somente nos leilões de energia existente – (Ajuste e A-1)
<b>Contratação</b>	Livre negociação entre os compradores e vendedores	Realizada por meio de leilões de energia promovidos pela CCEE, sob delegação da Aneel
<b>Tipo de contrato</b>	Acordo livremente estabelecido entre as partes	Regulado pela Aneel, denominado Contrato de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado (CCEAR)
<b>Preço</b>	Acordado entre comprador e vendedor	Estabelecido no leilão

Fonte: CCEE (2015).

Todos os contratos firmados nos ambientes livre e regulado são registrados na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE -, pois assim prevê a governança do setor elétrico, que estabelece que as atividades para a viabilização da comercialização de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional – SIN - devem ser gerenciadas pela CCEE. Desta forma, com o objetivo de alcançar a modicidade tarifária, foram instituídos no modelo atual os leilões - que funcionam como instrumento de compra de energia elétrica pelas distribuidoras no ambiente regulado. Os leilões são realizados pela CCEE, por delegação da ANEEL, e utilizam o critério de menor tarifa, visando à redução do custo de aquisição da energia elétrica a ser repassada aos consumidores cativos. O mecanismo de leilão tende a estabelecer o valor adequado ao equilíbrio do preço com a percepção do risco, porém é necessário que seja estabelecido um preço teto coerente com a política de modicidade tarifária (CCEE, 2015).

Há ainda o mercado de curto prazo, também conhecido como mercado de diferenças, no qual se promove o ajuste entre os volumes contratados e os volumes medidos de energia.





Uma visão geral da comercialização de energia, envolvendo os dois ambientes de contratação, é apresentada na Figura 28.

Figura 28: Ambientes de contratação



Fonte: CUBEROS (2008).

## 5.2. Os Leilões de Energia

Os leilões de energia elétrica foram estabelecidos pela lei nº 10.848/2004, regulamentada pelo Decreto nº 5.163/2004. São promovidos pelo Ministério de Minas e Energia – MME - e coordenados pela ANEEL diversos tipos de leilões, no intuito de que as concessionárias possam contratar com antecedência as fontes de geração que suprirão a demanda de energia elétrica. Em princípio, podem participar dos leilões as fontes de qualquer natureza, porém, para manter sintonia com a estratégia de governo visando o desenvolvimento de fontes renováveis e a diminuição no nível de emissão de gases de efeito estufa, certos tipos de fontes de valor relativamente alto de emissões de GEEs podem vir a ser impedidos de participar de alguns leilões.

Os leilões são definidos em diversos tipos, assim listados (MME, 2003):

- Leilões de Energia Nova – Anualmente são promovidos os leilões denominados A-5 e A-3, com cinco e três anos de antecedência, respectivamente, sendo “A” o ano de início do suprimento de energia. Nesses leilões as distribuidoras adquirem de forma coletiva, energia proveniente de novas fontes de geração, para atender o mercado por meio de contratos com duração entre 15 e 35 anos, dependendo do tipo de fonte supridora.
- Leilões de Energia Existente – No ano anterior ao ano “A”, por meio de leilões A-1, os distribuidores, de forma coletiva, podem comprar energia de fontes existentes, para repor contratos vencidos em “A”. Esses contratos têm duração de 3 a 15 anos.
- Leilões de Ajuste – São caracterizados como um mecanismo complementar de mitigação de risco dos distribuidores, em caráter individual, sendo realizado com até dois anos de antecedência, com contratos variando de três meses a dois anos. São realizados individualmente pelos distribuidores, dependendo de suas necessidades específicas, visando completar os montantes de energia contratados nos leilões de energia nova (LPE, A-5, A-3) e de energia existente (A-1).
- Leilões de Reserva – Sua realização visa garantir os níveis adequados de segurança de suprimento ao SIN. Ocorrem necessariamente todos os anos.
- Leilões de Fontes Alternativas – são leilões específicos, em adição aos leilões de energia nova LPE, A-5, A-3 e de Reserva, para um subconjunto de fontes, designados como fontes alternativas, assim consideradas as usinas que produzem energia elétrica a partir da biomassa, das eólicas e das pequenas centrais hidrelétricas (PCH).

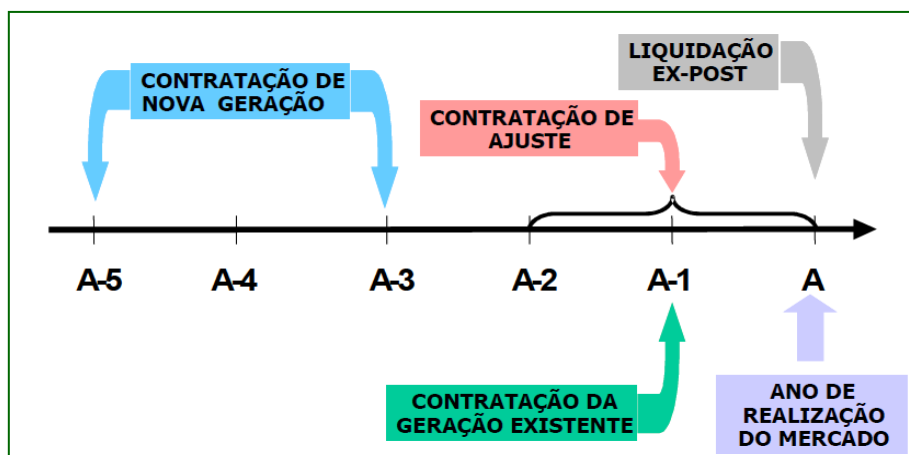
Os leilões de Fontes Alternativas – LFA - podem incorporar outras fontes renováveis, como, geração solar, considerando outros aspectos, a questão



estratégia da inclusão dessas fontes na matriz elétrica, o estágio tecnológico de seu desenvolvimento e a oportunidade ou potencial de competitividade.

A Figura 29 indica os diferentes tipos de contratação dos distribuidores no ACR, assinalando a sequência temporal dessas contratações.

Figura 29: Contratação regular das Distribuidoras no ACR.



Fonte: MME (2003).

Desde a implantação do atual modelo setorial (2004), os leilões de energia têm se consolidado como mecanismos eficientes para promover a expansão da geração, com foco na inclusão de fontes alternativas e renováveis na matriz elétrica brasileira, viabilizando especialmente a geração de energia de fontes renováveis.

### 5.3. Garantia Física e Modalidade de Contrato

Conforme dados do Ministério de Minas e Energia (2008), a garantia física de uma usina define-se pela quantidade máxima de energia que pode ser utilizada para comprovação de lastro para comercialização (Portaria MME nº258, de 28 de julho de 2008). Uma particularidade que deve ser levada em consideração, quanto à geração fotovoltaica, é a perda de capacidade de geração resultante do envelhecimento dos painéis solares, que é de cerca de 0,6% a 1% ao ano para painéis de silício e ainda maior para painéis de filme

fino. Assim sendo, a regulamentação vigente do setor elétrico prevê duas modalidades de contratação da geração: por “quantidade” e por “disponibilidade”. A diferença delas está na alocação do risco de insuficiência de geração para atendimento ao contrato. Quanto ao risco de não atendimento ao contrato, características como a pequena taxa de variabilidade interanual da geração e o baixíssimo índice de indisponibilidade das usinas fotovoltaicas, indicam certa neutralidade quanto à modalidade de contrato (EPE, 2012).

### *5.3.1. Requisitos para habilitação técnica*

Entende-se que habilitação técnica trata-se de um processo de análise multidisciplinar que abrange os projetos eletromecânicos e de conexão ao sistema elétrico, o licenciamento ambiental, a logística e as garantias do suprimento de combustíveis e reagentes, as certificações de campanhas de medições e a análise jurídica de contratos, tendo por objetivo atestar o fato de que o início do suprimento e a quantidade de energia ofertada ocorrerão conforme as exigências contratuais. Desta forma, as exigências para a habilitação técnica dos parques solares dependem das características técnicas dos projetos, sejam fotovoltaicos ou heliotérmicos, e das peculiaridades das regras de contratação. Para o caso das regras vigentes, apesar do atendimento aos critérios estabelecido na portaria MME nº 21/2008, são necessárias informações suplementares que permitam avaliar, diferenciadamente, a capacidade de produção de energia elétrica por tecnologias diversas (EPE, 2012).

Dentre outros condicionantes, visando reduzir a incerteza na geração, os requisitos de habilitação devem contemplar a exigência de um período mínimo de medições solarimétricas no local da usina e num raio no seu entorno. Devem-se, ainda, ser estabelecidos procedimentos para aferir a capacidade de produção da usina construída, ou, seja, contemplando eventuais modificações de projeto entre os momentos da adjudicação do contrato e o do efetivo comissionamento da planta. Tais aspectos devem constar do conjunto de requisitos para habilitação técnica a ser objeto de nota técnica específica a ser





oportunamente elaborada, tendo em conta as diretrizes, formatação, regras e sistemática do leilão (EPE, 2012).

#### 5.4. Características do Mercado Energético do estado de Minas Gerais

Para participação nos leilões de energia elétrica é necessário que o empreendimento apresente uma Licença Prévia – LP - ambiental da entidade federativa competente a qual está vinculado o empreendimento.

Conforme já informado, o Atlas Solarimétrico de Minas Gerais, apresentou uma radiação solar direta anual de 2700 KWh/m<sup>2</sup> no verão e de cerca de 2200-2400 KWh/m<sup>2</sup> em bases anuais (CEMIG, 2012). A CEMIG vem desenvolvendo três projetos sendo dois no município de Belo Horizonte, um no Estádio Governador Magalhães Pinto Mineirão, com capacidade de 1,4 MW e outro no Estádio Jornalista Felipe Drummond (Mineirinho) com capacidade de 1,1 MW (CEMIG, 2013). O terceiro, no município de Sete Lagoas, com capacidade de 3 MW, que equivale ao fornecimento de energia de aproximadamente mil residências, com investimento da ordem de R\$ 40 milhões, sendo cerca de R\$ 25 milhões para a viabilização da usina solar (CEMIG, 2011).

O potencial da fonte solar, conforme Figura 7, se mostra interessante em praticamente todo o Estado mineiro e deve-se desenvolver por meio de usinas solares fotovoltaicas nos leilões por fonte e por meio de painéis fotovoltaicos em telhados (Geração Distribuída). Estudo da EPE (2014) destaca o Estado de Minas Gerais como o segundo maior potencial do país em geração distribuída (EPE, 2014) (painéis fotovoltaicos em telhados residenciais) com 3.675 MW médios (Tabela 3).

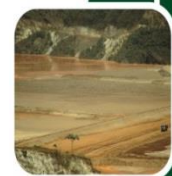
Tabela 3: Potencial fotovoltaico em telhados residenciais no Brasil

Estados Federativos	Potencial Fotovoltaico residencial (MW <sub>médios</sub> )	Estados Federativos	Potencial Fotovoltaico residencial (MW <sub>médios</sub> )
São Paulo	7.100	Mato Grosso	570
Minas Gerais	3.675	Rio Grande do Norte	555
Rio de Janeiro	2.685	Piauí	555
Bahia	2.360	Mato Grosso do Sul	505
Rio Grande do Sul	1.970	Alagoas	505
Paraná	1.960	Amazonas	420
Ceará	1.430	Distrito Federal	410
Pernambuco	1.410	Sergipe	350
Goiás	1.220	Rondônia	265
Santa Catarina	1.075	Tocantins	255
Maranhão	1.020	Acre	110
Pará	1.020	Amapá	80
Paraíba	655	Roraima	65
Espírito Santo	595	Brasil	32.820


Fonte: adaptado EPE (2014).

Os Territórios do Triângulo Mineiro, tanto o do Norte quanto o do Sul, possuem, atualmente, segundo dados da Aneel (2015) 1,5 MW instalados em telhados (ANEEL, 2015).



De acordo com o AmbienteEnergia (2010), estudo recente da *European Photovoltaic Industry Association* (EPIA) e do *Greenpeace*, conclui que o preço dos equipamentos de energia solar fotovoltaica terão uma queda de 60% até 2020. Além do custo, a eficiência energética dos módulos, que hoje tem uma variação média entre 15% e 19%, num cenário de 10 anos, o estudo aponta um aumento de eficiência da ordem de 30%, o que ajudará a reduzir o preço da energia solar fotovoltaica (AMBIENTE ENERGIA, 2010).




## 5.5. Arcabouço Jurídico




Em agosto de 2013, entrou em vigor em Minas Gerais o Decreto nº 46.296, que cria o “Programa Mineiro de Energia Renovável – Energias de Minas (PMER)” (MINAS GERAIS, 2013), que tem como objetivo promover e incentivar a produção e consumo de energia de fontes renováveis e contribuir com o desenvolvimento sustentável. Segundo o art. 2º serão concedidos incentivos fiscais e tratamento tributário diferenciado aos empreendimentos localizados em Minas Gerais, na forma da legislação tributária, nos seguintes casos:

- 
- 
- Na produção de peças, partes, componentes e ferramentas utilizados na geração de energia renovável;
  - No material a ser utilizado como insumo nas obras de construção civil necessárias aos empreendimentos de geração de energia renovável;
  - Na infraestrutura de conexão e de transmissão que se faça necessária aos empreendimentos geradores de energia renovável para sua interligação no Sistema Interligado Nacional;
  - No fornecimento da energia elétrica produzida a partir de usinas geradoras de energia de fonte solar, eólica, biogás, biomassa de reflorestamento, biomassa de resíduos urbanos, biomassa de resíduos animais ou hidráulica de CGHs, por um prazo de quinze anos a contar da data de sua entrada em operação.



Foi também criada, em agosto de 2013, a Lei nº 20.846 (MINAS GERAIS, 2013), que institui a política estadual de incentivo ao uso da energia solar, com os seguintes objetivos:

- 
- Aumentar a participação da energia solar na matriz energética do Estado;
  - Contribuir para a eletrificação de localidades distantes de redes de distribuição de energia elétrica;
  - Estimular o uso de energia fotovoltaica em áreas urbanas e rurais;



- Estimular o uso de energia termossolar em unidades residenciais, industriais, agrícolas, comerciais e de serviços;
- Reduzir a demanda de energia elétrica em horários de pico de consumo;
- Contribuir para a melhoria das condições de vida de famílias de baixa renda;
- Contribuir para a diminuição da emissão de gases de efeito estufa;
- Estimular a implantação, em território mineiro, de indústrias de equipamentos e materiais utilizados em sistemas de energia solar;
- Estimular o desenvolvimento e a capacitação de setores comerciais e de serviços relativos a sistemas de energia solar.

No intuito de auxiliar a expansão do uso de energia elétrica por meio de fontes renováveis e o desenvolvimento sustentável, o Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM - órgão normativo, colegiado, consultivo e deliberativo, subordinado à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD - aprovou a Deliberação Normativa nº 202 (MINAS GERAIS, 2015), que alterou o art. 2º Da Deliberação Normativa nº 176 (MINAS GERAIS, 2012), que passou a vigorar com a seguinte redação:

Art. 2º Os empreendimentos a que se refere o art. 1º desta Deliberação Normativa, com potência acima de 10MW, quando localizados em área na qual haja necessidade de supressão de maciço florestal e/ou intervenção em área de preservação permanente e/ou intervenção em área de influência de cavidades naturais subterrâneas e/ou causem impacto a espécies de fauna ou flora ameaçadas de extinção, deverão ter um aumento de sua classe, passando a ser considerados Classe 5 e a ter os processos de licenciamento ambiental instruídos mediante apresentação de Estudo de Impacto Ambiental e seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA e Plano de Controle Ambiental - PCA) (MINAS GERAIS, 2015).

Além disso, destaca-se que empreendimentos que não se enquadrarem nos critérios expostos no caput do artigo, mediante justificativa do órgão ambiental competente, poderão ter uma redução de sua classe, passando a ser considerados de Classe 5 para Classe 3 e a ter os processos







de licenciamento ambiental instruídos mediante apresentação de (RCA) e (PCA) (MINAS GERAIS, 2015).

Esse arcabouço jurídico que vem sendo criado no Estado visa o desenvolvimento do mercado energético, desenvolvimento socioeconômico e aumento da participação das fontes de energia renovável na matriz elétrica mineira. Se somarmos essas ações ao grande potencial solar evidenciado pelo Atlas Solarimétrico de Minas Gerais, o Estado tende a ser palco de inserção de um grande número de empresas do setor de energia solar. O município, visando ainda, à sustentabilidade ambiental inserida no planejamento urbano, pode e deve diagnosticar as áreas degradadas, como mineradoras desativadas ou em processo de desativação, lixões e aterros sanitários, além de áreas contaminadas, para criar políticas de recuperação ou reabilitação, que possam ser palco para instalação de usinas solares fotovoltaicas.

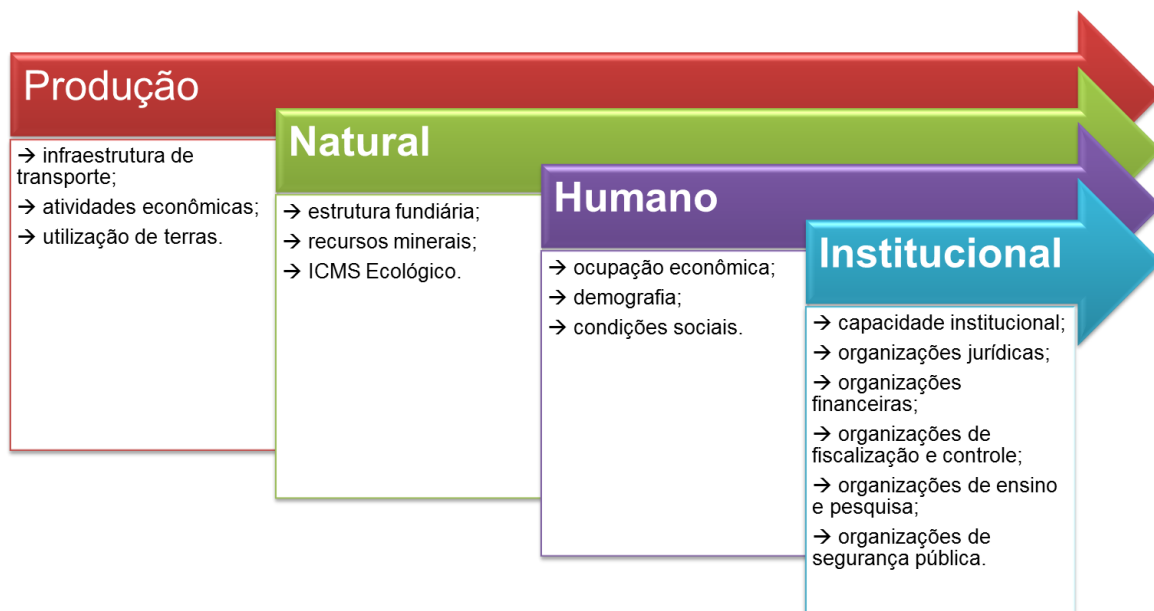


## 6. ESCOLHA DA MELHOR ÁREA EM TERMOS DE SUSTENTABILIDADE


O Método de Análise Hierárquica, AHP (abreviação do inglês *Analytic Hierarchy Process*) é uma metodologia para auxílio em tomadas de decisão (SAATY, 1987), que serve como ferramenta para auxiliar na tomada de decisões complexas, contribuindo para os processos de escolha e de justificativa destas. Este método foi criado pelo professor Thomas L. Saaty na década de 1970, na Escola Wharton da Universidade da Pensilvânia. Em suma, usa-se uma escala de razões para medir as intensidades com que as alternativas satisfazem um dado objetivo.

No caso específico considerado neste trabalho, o conjunto de elementos é o conjunto de critérios associados aos componentes humano, natural, institucional e de produção, que são fatores condicionantes formados por indicadores, sendo estes extraídos do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado de Minas Gerais (ZEE) e são apresentados na Figura 30.


Figura 30: Fatores de potencialidade social.



Fontes: Adaptado de SCOLFORO (2008).




Tais critérios devem ser comparados tendo em vista suas respectivas relevâncias ou contribuições para compor o objetivo global da prospecção que, neste projeto é definido como: identificar as áreas mais adequadas para a implantação de empreendimentos solares fotovoltaicos no estado de Minas Gerais, levando em conta não somente o potencial solar de geração, mas também o quanto uma determinada região tende a ser favorecida socioeconomicamente pela instalação de tal empreendimento.



Deve-se considerar que os critérios do conjunto de elementos devem compor de maneira completa e não redundante as perspectivas ou facetas ou fatores que definem a atratividade e características de cada localidade.

É crucial a compreensão de que a omissão de algum fator relevante para definir a atratividade pode levar a decisões inadequadas, bem como a inclusão de dois ou mais fatores redundantes, por desatenção do decisor, pode levar à sobrevalorização destes fatores em detrimento de outros, devido a efeitos numéricos (SILVA, 2014).



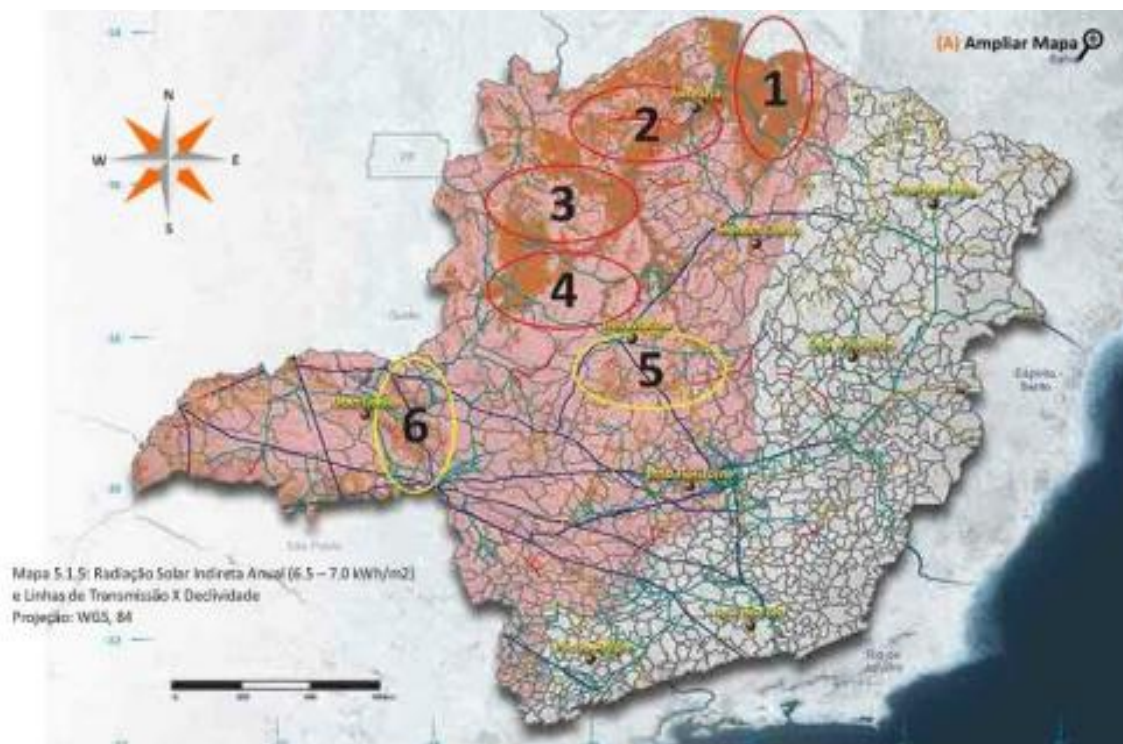
O ponto de partida desse estudo é o Atlas Solarimétrico de Minas Gerais, concluído em maio do ano de 2012 pela CEMIG, que, com base no mapeamento do potencial solar do estado, aponta as seis melhores áreas promissoras para desenvolvimento de empreendimentos solares, segundo um contexto de viabilidade técnica:

- Área 1: Janaúba.
- Área 2: Januária.
- Área 3: Pirapora e Unaí.
- Área 4: Pirapora e Paracatu.
- Área 5: Curvelo e Três Marias.
- Área 6: Patrocínio e Araxá.



Estas seis áreas estão representadas na Figura 31.

Figura 31: Áreas promissoras em Minas Gerais para empreendimentos solares.

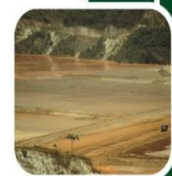


Fontes: CEMIG (2012).

Devido à proximidade entre algumas cidades, decidiu-se pelo agrupamento das áreas 2-3-4 em uma única e mesma área. Assim, para efeito deste estudo, serão consideradas quatro áreas:

- Área 1: Janaúba;
- Área 2: Januária, Pirapora, Unaí, e Paracatu;
- Área 3: Curvelo e Três Marias;
- Área 4: Patrocínio e Araxá.

Ao analisar as cidades de maior potencial solar, pertencentes a cada área apontada pelo Atlas, pode-se comparar os benefícios socioeconômicos que um empreendimento desta categoria poderá trazer à região e, assim, definir a área mais provável à ocorrência de um desenvolvimento regional proveniente de projetos do tipo “usinas fotovoltaicas”.



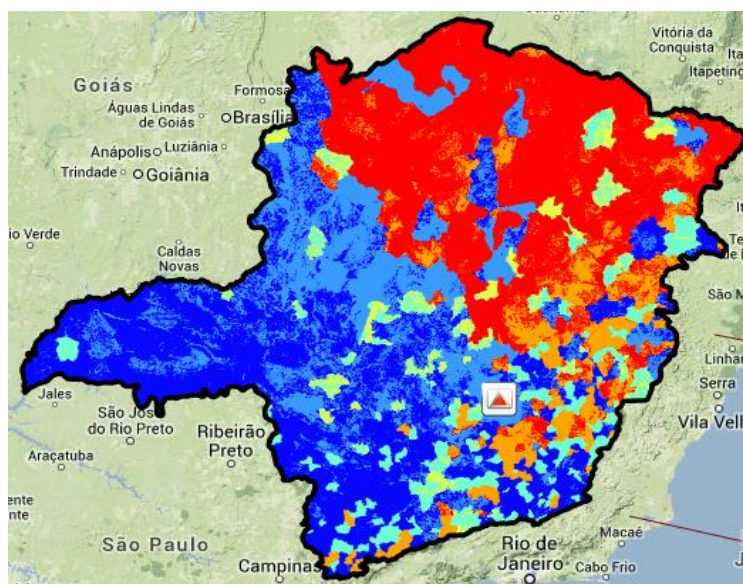


## 6.1. Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) do Estado de Minas Gerais

O Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) visa mostrar com um grau de definição espacial e numa escala semiquantitativa para possibilitar comparações até então existentes, a fragilidade ou vulnerabilidade do ecossistema e a potencialidade social ou o ponto de partida de cada município. Permite ao tomador de decisões definir em qual área do município deve ser instalado e quais os cuidados socioambientais o empreendedor deverá tomar (SCOLFORO, 2008).

De acordo com a metodologia proposta no ZEE, o ponto de partida de potencialidade social dos municípios e regiões deve ser identificado por meio de categorização dos municípios, para tanto, tomou-se como referência a comparação entre os dados do município e os dados de 853 municípios do estado de Minas Gerais. Desta forma pode situá-lo dentro de uma faixa que varia entre um número mínimo e ao máximo de cinco pontos, representado simbolicamente pelas cinco primeiras letras do nosso alfabeto (SCOLFORO, 2008).

Figura 32: Mapa de Minas Gerais com camadas de categorias do ZEE.



Fonte: SCOLFORO (2008).

Os pontos que correspondem a cada categoria foram atribuídos de acordo com o resultado da aplicação do método de análise multivariada por componentes principais, estabelecendo-se cinco intervalos percentílicos para cada indicador, de acordo com a variabilidade dos dados. Como resultado da pontuação, foram plotadas cartas para cada indicador, para cada fator condicionante e para cada componente da potencialidade social, utilizando o *software ArcGIS* (ESRI, 2014). Assim, para cada categoria corresponde uma cor e um número, apresentada nas cartas, conforme a Tabela 4:

Tabela 4: Tipos de potencialidades




Tipo de Potencialidades	Categoria	Pontos	Cores
Muito Favorável	A	5	Azul escuro
Favorável	B	4	Azul claro
Pouco Favorável	C	3	Verde
Precário	D	2	Amarelo
Muito Precário	E	1	Vermelho

Fonte: Adaptado de SCOLFORO (2008).

Para estabelecer as cinco categorias de potencialidade social, o ZEE partiu dos componentes produtivo, natural, humano e institucional, sendo que para cada componente estabeleceu-se um conjunto de fatores condicionantes e, respectivamente, para cada condicionante um conjunto de indicadores. O fator condicionante corresponde a um conjunto de indicadores, pontuados de acordo com os critérios estatísticos. Indicador é a medida de um dado ou uma informação quantitativa que revela a situação do fator condicionante respectivo, formado por um conjunto de variáveis. Variáveis são dados ou informações quantitativas que podem ter ou assumir diferentes valores, diferentes aspectos. Assim, forma-se uma estrutura metodológica de diagnóstico da realidade dos municípios em termos de potencialidade (SCOLFORO, 2008). A partir dos dados apresentados no ZEE, pretende-se utilizar a metodologia AHP para auxiliar na tomada de decisão quanto ao município potencialmente adequado (dentro do conceito de desenvolvimento sustentável) à implantação de empreendimentos solares.




## 6.2. Metodologia AHP



A Metodologia AHP é apresentada por Saaty (1987), conforme descrição que se segue. De acordo com (SAATY, 1987), considere-se os elementos de um dado nível hierárquico, e depois, determina-se os pesos dos elementos em relação a um elemento do nível imediatamente superior da matriz de comparação par-a-par, por meio do cálculo do autovetor. Dessa forma, sendo  $a_{ij}$  o valor obtido da comparação par-a-par do elemento  $i$  com o elemento  $j$ , a matriz formada por esses valores é a matriz  $A$ , onde  $A = (a_{ij})$ , sendo que essa matriz é uma matriz recíproca tal que  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ , na qual, se os juízos fossem perfeitos, em todas as comparações seria possível verificar que  $a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik}$ , para qualquer  $i, j, k$ . Para esse procedimento a matriz  $A$  seria consistente. Porém, algumas vezes é verificada alguma inconsistência nos juízos, fato que é admitido pelo método AHP. Quanto mais próximo estiver o valor de  $\lambda_{máx}$  de  $n$ , maior será a consistência dos juízos (GOMES, et al., 2004). Sendo  $A$ , a matriz de valores, deve-se encontrar o valor que satisfaça a equação:

$$A_w = \lambda_{máx} \times \omega \quad (1)$$




Para obter-se o autovetor a partir da equação 1, tem-se:

$$\lambda_{máx} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n j_i \frac{[A\omega]_i}{\omega_i} \quad (2)$$

Assim, a matriz  $A$  é consistente se, e somente se,  $\lambda_{máx} \geq n$ . Se a matriz  $A$  é consistente, calcula-se a magnitude da perturbação utilizando o Índice de Consistência (IC), que deverá ter um valor inferior a 0,1, utilizando a equação:

$$I_c = (\lambda_{máx} - n)(n - 1) \quad (3)$$



Propõe-se o cálculo da Razão de Consistência (RC), que é a relação entre o Índice de Consistência  $IC$  pelo  $IR$ . Esse cálculo fornece como resultado um novo vetor, em que cada elemento é dividido pelo elemento correspondente no autovetor, e os resultados são somados, calculando-se em seguida a média.

$$R_c = \frac{IC}{IR} \quad (4)$$

O Índice Randômico (*IR*) é um índice aleatório, calculado para matrizes quadradas de ordem *n* pelo Laboratório Nacional de *Oak Ridge*, nos Estados Unidos. A Tabela 5 apresenta alguns valores.

Tabela 5: Valores de *IR* para matrizes quadradas de ordem *n*.

		<i>IR</i>					
<i>n</i>		2	3	4	5	6	7
<i>IR</i>		0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32

Fonte: GOMES, et al. (2004).

Devido ao denominado limite psicológico, segundo o qual o ser humano pode, no máximo, julgar corretamente  $7 \pm 2$  pontos, ou seja, no máximo nove pontos para distinguir suas diferenças, (SAATY, 1987) definiu uma Escala Fundamental, que é apresentada na Tabela 6:

Tabela 6: Escala Fundamental de Saaty.

Escala Fundamental De Saaty		
1	Igual importância	As duas alternativas contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o juízo favorecem uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência ou o juízo favorece fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra. Pode ser demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra, com o mais alto grau de segurança.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Fonte: GOMES, et al. (2004).

O método AHP calcula o valor de impacto da alternativa *j* em relação com *i*, em que os resultados representam valores numéricos das atribuições verbais dadas pelo decisor a cada comparação de alternativas. Utiliza-se a equação 5, onde *n* corresponde ao número de alternativas ou elementos comparados.

$$\sum_{i=1}^n \bar{v}_i (A_j) = 1 \quad j = 1, \dots, n \quad (5)$$





Cada parte desse somatório consiste em:

$$\bar{v}_i(A_j) = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad j = 1, \dots, n \quad (6)$$

Isso faz com que o vetor de prioridades de alternativa  $i$  em relação ao critério  $C_k$ , seja:

$$\bar{v}_k(A_i) = \sum_{j=1}^n \bar{v}_i \frac{(A_j)}{n} \quad i = 1, \dots, n \quad (7)$$

Desta forma, depois de obtido o vetor de prioridades ou de impacto das alternativas sob cada critério  $C_k$ , continua-se com o nível dos critérios. Adota-se então, novamente, a escala verbal para a classificação par-a-par dos critérios, que são normalizados na equação:

$$\bar{w}_i(C_j) = \frac{c_{ij}}{\sum_{i=1}^m c_{ij}} \quad j = 1, \dots, m \quad (8)$$

Onde  $m$  corresponde ao número de critérios de um mesmo nível. O vetor principal é dado por:

$$\bar{w}(C_i) = \sum_{j=1}^m \bar{w}_i \frac{(C_j)}{m} \quad i = 1, \dots, m \quad (9)$$

Encerrando, um processo de agregação permite gerar os valores finais das alternativas, ordenando-as pela equação 10, onde  $n$  corresponde ao número de alternativas:

$$\bar{f}(A_j) = \sum_{i=1}^m \bar{w}(C_i) \times v_i(A_j) \quad j = 1, \dots, n \quad (10)$$

### 6.3. Aplicação da Metodologia AHP com os dados do ZEE

O método AHP Clássico empregado considera muitos aspectos imponderáveis ou incomparáveis entre si. Portando, os valores atribuídos para a comparação foram levantados de maneira subjetiva, por meio de uma avaliação de hierarquia de valores dos indicadores do ZEE, realizada com analistas da FEAM de diversas áreas técnicas (BARBOSA, et al., 2014). Foi

então atribuída uma média aos pontos de cada um dos indicadores. Desta forma, ficou estabelecido que a ordem hierárquica de valores deveria ser:

- Produção;
- Institucional;
- Humano;
- Natural.

Tabela 7: Matriz de comparação 1

Matriz de comparação de critérios socioeconômico do ZEE				
COMPONENTES	Produção	Institucional	Humano	Natural
Produção	1	2	5	3
Institucional	1/2	1	3	3
Humano	1/5	1/3	1	2
Natural	1/3	1/3	1/2	1

Fonte: BARBOSA, et al. (2014).

Normalizando, segundo a equação 5, tem-se:

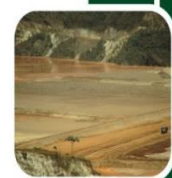
Tabela 8: Matriz de comparação 2.

Matriz de comparação de critérios socioeconômico do ZEE				
COMPONENTES	Produção	Institucional	Humano	Natural
Produção	30/61	6/11	10/19	1/3
Institucional	15/61	3/11	6/19	1/3
Humano	6/61	1/11	2/19	2/9
Natural	10/61	1/11	1/19	1/9

Fonte: BARBOSA, et al. (2014).

A seguir, segundo a equação 6, obtêm-se:

- Produção:  $(30/61+6/11+10/19+1/3)/4= 0,4742$
- Institucional:  $(15/61+3/11+6/19+1/3)/4= 0,2919$
- Humano:  $(6/61+1/11+2/19+2/9)/4= 0,1292$
- Natural:  $(10/61+1/11+1/19+1/9)/4= 0,1047$



Portanto, a ordem de prioridade de critérios foi confirmada como Produção, Institucional, Humano e Natural. O próximo passo é o cálculo do RC dos juízos realizados pelo decisor, lembrando que, para as matrizes de ordem dois o RC é zero. Usando a equação 1, para obter o autovetor, tem-se:

Tabela 9: Cálculo de  $A_w$ .

$A_w$	1	2	5	3	X	0,4742	=	2,0181
	1/2	1	3	3		0,2919		1,2307
	1/5	1/3	1	2		0,1292		0,5307
	1/3	1/3	1/2	1		0,1047		1,4247

Fonte: BARBOSA, et al. (2014).

Aplicando-se a equação 2, obtém-se:

$$\lambda_{\text{máx}} = (2,0181/0,4742 + 1,2307/0,2919 + 0,5307/0,1292 + 0,4247/0,1047)/4$$

$$\lambda_{\text{máx}} = 4,1590$$

Se a matriz é consistente, então, quando for calculada a magnitude da perturbação da matriz utilizando a relação  $IC$ , que corresponde ao Índice de Consistência, esse terá um valor menor do que 0,1. Segundo a equação 3, o  $IC$  desse estudo será:

$$IC = (4,1590 - 4) \times (4 - 1) = 0,053$$

Quanto maior for  $RC$ , maior será a inconsistência. Em geral, uma inconsistência considerada aceitável para  $n > 4$  é  $RC \leq 0,10$ . Dado que  $n = 4$  e o índice aleatório  $IR$  associado à matriz dominante é de 0,90, conforme Tabela 5. Com esse valor, calcula-se o  $RC$ .

$$Rc = Ic / Ir = 0,053 / 0,90 = 0,0589 < 0,10$$

Portanto, a inconsistência dos juízos emitidos pelo decisor é aceitável. As comparações realizadas entre as prioridades de cada área definida pelo Atlas Solarimétrico de Minas Gerais em relação aos critérios socioeconômicos do ZEE originaram as matrizes apresentadas nas tabelas: Tabela 10, Tabela 11,

Tabela 12 e Tabela 13. Os vetores de prioridades das áreas, segundo cada critério, foram calculados aplicando as equações 6 e 7.

Tabela 10: Matriz de componente produção

PRODUÇÃO					PRODUÇÃO					
	A1	A2	A3	A4		A1	A2	A3	A4	$\sum A$
A1	1	1/2	3	5	A1	11/53	3/13	6/15	5/11	0,3232
A2	2	1	3	3	A2	22/53	15/53	9/22	3/11	0,3450
A3	1/3	1/3	1	2	A3	11/159	5/53	3/22	2/11	0,1110
A4	1/5	1/3	1/2	1	A4	11/215	3/53	1/22	1/11	0,0611

Fonte: BARBOSA, et al. (2014).

Tabela 11: Matriz de componente institucional

INSTITUCIONAL					INSTITUCIONAL					
	A1	A2	A3	A4		A1	A2	A3	A4	$\sum A$
A1	1	1/2	1/3	1/3	A1	1/9	1/5	2/23	1/16	0,1151
A2	2	1	2	2	A2	2/9	2/5	12/23	3/8	0,3797
A3	3	1/2	1	2	A3	1/3	1/5	6/23	3/8	0,2923
A4	3	1/2	1/2	1	A4	1/3	1/5	3/23	3/16	0,2128

Fonte: BARBOSA, et al. (2014).

Tabela 12: Matriz de componente humano

HUMANO					HUMANO					
	A1	A2	A3	A4		A1	A2	A3	A4	$\sum A$
A1	1	1/3	3	5	A1	15/68	35/176	6/63	1/15	0,1453
A2	3	1	3	7	A2	45/68	105/176	10/63	7/15	0,4709
A3	1/3	1/3	1	2	A3	5/68	21/176	2/63	2/15	0,0895
A4	1/5	1/7	1/2	1	A4	3/68	15/176	4/63	1/15	0,0649

Fonte: BARBOSA, et al. (2014).

Tabela 13: Matriz de componente natural

NATURAL					NATURAL					
	A1	A2	A3	A4		A1	A2	A3	A4	$\sum A$
A1	1	1/2	5	4	A1	20/69	3/14	10/17	2/5	0,3731
A2	2	1	2	3	A2	40/69	3/7	4/17	3/10	0,3859
A3	1/5	1/2	1	2	A3	4/69	3/14	2/17	1/5	0,1475
A4	1/4	1/3	1/2	1	A4	5/69	1/7	1/17	1/10	0,0935

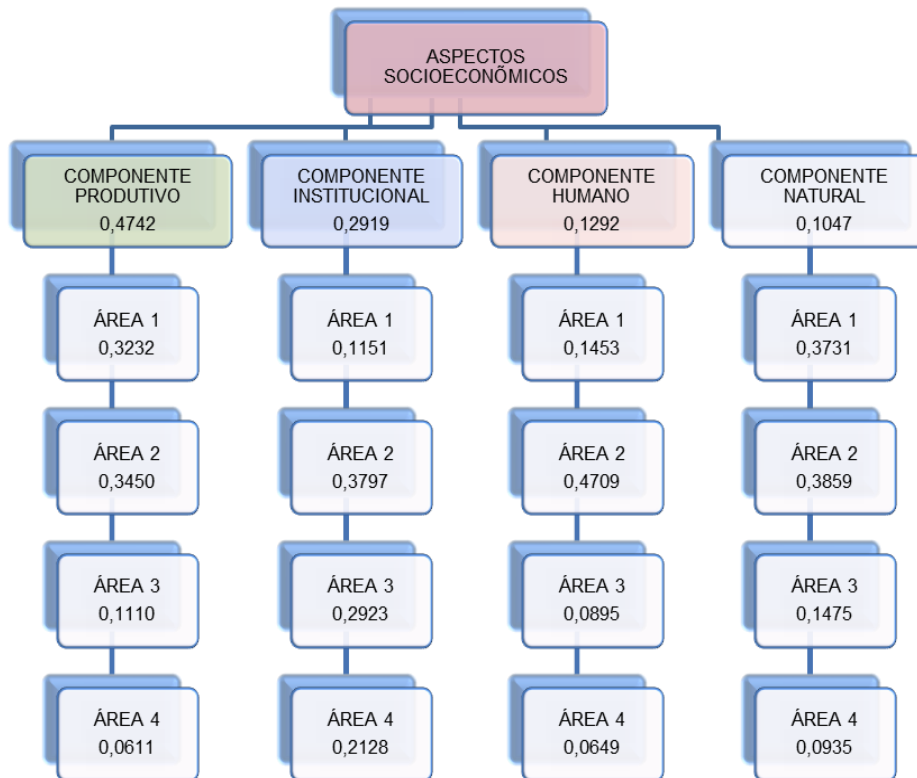
Fonte: BARBOSA, et al. (2014).

Dessa forma, os pesos atribuídos aos critérios e às alternativas pelo Método AHP Clássico são apresentados na Figura 33.





Figura 33: Pesos obtidos para o estudo de aspectos econômicos



Fonte: BARBOSA, et al. (2014).

Para obter os valores finais de cada área, usa-se a equação 10, na qual se devem multiplicar os pesos obtidos em cada passo e os resultados dos diferentes passos devem ser somados. A pontuação final é demonstrada na Tabela 14.

Tabela 14: Pontuação de cada área

PONTUAÇÃO DE CADA ÁREA	
A1	$0,4742 \times 0,3232 + 0,2919 \times 0,1151 + 0,1292 \times 0,1453 + 0,1047 \times 0,3731 = 0,2448$
A2	$0,4742 \times 0,3450 + 0,2919 \times 0,3797 + 0,1292 \times 0,4709 + 0,1047 \times 0,3859 = 0,3756$
A3	$0,4742 \times 0,1110 + 0,2919 \times 0,2923 + 0,1292 \times 0,0895 + 0,1047 \times 0,1475 = 0,1593$
A4	$0,4742 \times 0,0611 + 0,2919 \times 0,2128 + 0,1292 \times 0,0649 + 0,1047 \times 0,0935 = 0,1093$

Fonte: BARBOSA, et al. (2014).

Observando os resultados, a ordem de prioridade das alternativas é:

- Área 2 (0,3756);
- Área 1 (0,2448);



- Área 3 (0,1593);
- Área 4 (0,1093).

Segundo essa análise recomenda-se utilizar a Área 2, para instalação de usinas solares fotovoltaicas em Minas Gerais, com vista ao melhor aproveitamento no contexto de desenvolvimento socioeconômico, para as regiões do Estado (BARBOSA, et al., 2014). Tal área (Januária, Pirapora, Unaí, e Paracatu), que é integrada por diversos municípios que compõem a região noroeste e parte da região norte do estado, é, pois, tida como a área de maior potencial para desenvolvimento socioeconômico no estado de Minas Gerais. Conta-se ainda que a construção de usinas solares traz associada a si, todo um complexo sistema de serviços, como: implantação de indústria da construção civil especializada, desenvolvimento da malha viária, indústria de equipamentos e serviços associados e terceirizados, fomento da economia verde e criação e ampliação de centros de ensino e pesquisas locais (BARBOSA, et al., 2014).



## 7. MEIO AMBIENTE

A Constituição Federal de 1988, Cap. VI, Art. 225 estabelece que:

“... Artigo 225 - Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações...” (BRASIL, 2012).

É preciso ter clareza no entendimento de que proteger o meio ambiente não significa impedir o desenvolvimento. O que se faz necessário é promover o desenvolvimento em harmonia com o meio ambiente. Daí a ideia de “desenvolvimento sustentável”, que tomou corpo nas últimas décadas e norteia a ação dos órgãos públicos encarregados da defesa do meio ambiente, no mundo todo.

A disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos, bem como a degradação causada por atividades de exploração minerária, representam um grave passivo ambiental para a maioria dos municípios de Minas Gerais, configurando-se, inclusive, como um problema ambiental e de saúde pública, contrariando assim o Art. 225 supracitado no início deste capítulo. Faz-se necessária, pois, a recuperação de tais áreas degradadas de modo a reduzir os passivos e possibilitar a sua transformação em ativos ambientais, sociais e econômicos. O uso da energia solar fotovoltaica apresenta-se no cenário energético mundial como uma importante alternativa às fontes convencionais de geração de energia elétrica, sobretudo quando se põe em vista às mudanças climáticas iminentes e à necessidade de redução na emissão de gases de efeito estufa do setor energético. Nesse contexto, destaca-se a possibilidade de desenvolvimento de projetos de instalação de sistemas fotovoltaicos em áreas de recuperação ambiental sem perspectiva de utilização futura, devido a restrições diversas. É, pois, proposto neste trabalho como uma alternativa viável no processo de reabilitação de áreas degradadas.

## 7.1. Degradação Ambiental

Conforme a afirmação de Wilson (1998), “o primeiro passo para a sabedoria é referir-se às coisas pelos seus nomes corretos”. Desta forma, é preciso ter clara a definição e limites dos conceitos que envolvem a degradação ambiental e as formas de mitigá-la para que o sentido e a essência da proposta do escopo deste projeto sejam respeitados com o mínimo de conflitos possível.

A degradação ambiental pode ser entendida, de modo geral, como qualquer alteração causada pelo Homem no ambiente. Contudo, há certa variância quanto ao consenso na definição dos conceitos de área degradada e degradação ambiental.

O Guia de Recuperação de Áreas Degradadas da SABESP define degradação ambiental, como sendo as “modificações impostas pela sociedade aos ecossistemas naturais, alterando (degradando) as suas características físicas, químicas e biológicas, comprometendo, assim, a qualidade de vida dos seres humanos” (SABESP, 2003). Os autores Neves e Tostes (1992) definem da seguinte forma o ato de degradar: “Degradar é deteriorar, estragar. É o processo de transformação do meio ambiente que leva à perda de suas características positivas e até à sua extinção”. Lembrem, ainda, que, ao longo do tempo, tanto aqueles que exercem atividades econômicas, quanto o Poder Público, têm provocado degradação ambiental. Com relação ao Estado, pode-se citar fontes de degradação como as estatais poluidoras, más gestões de saneamento, e incentivos fiscais a atividades degradantes (NEVES e TOSTES, 1992). Neste estudo escolheu-se trabalhar sob o conceito contido na legislação federal, em seu Decreto Federal Nº 97.632, de 10 de abril de 1989, onde a degradação ambiental é tida como o “conjunto de processos resultantes de danos no meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como, a qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais” (BRASIL, 1989).

Para Bitar e Braga (1995) “áreas degradadas são geradas por intervenções significativas nos processos do meio físico” (BITAR e BRAGA,





1995). Uma área encontra-se degradada quando, independente do tipo de interferência, seu ambiente, entre outros sintomas, apresenta:

- Perda da vegetação nativa;
- Redução ou eliminação da fauna;
- Incapacidade de regeneração biótica;
- Destruição da camada fértil;
- Alteração da vazão e da qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

São várias as formas de degradação ambiental causadas por ações antrópicas, tais como: efluentes de resíduos industriais, erosão, lixiviação, desmatamento, queimadas e incêndios florestais, ocupação humana desregulada, caça predatória, poluição do ar e da água, entre outros.

Tendo como foco o escopo deste projeto, o presente relatório trata de duas formas específicas de degradação ambiental: aquela causada pela disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos; e aquela proveniente de atividades minerárias, especialmente no que se refere aos passivos ambientais resultantes após o fechamento das minas.

#### *7.1.1. Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)*

Sabe-se que, no mundo inteiro, são várias as ocorrências de contaminação de solos e águas subterrâneas atribuídas aos depósitos de lixo, mesmo aqueles onde foram implantadas medidas de controle, como drenos, impermeabilizações, etc., caracterizando um passivo ambiental preocupante e que exige muita atenção e dedicação dos gestores públicos.

O correto gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos – RSUs - deve incluir uma cadeia de ações que intentem a redução da geração de resíduos, a coleta seletiva, o transporte adequado, o reaproveitamento de materiais recicláveis ou com potencial energético, bem como a disposição final dos

resíduos em sistemas projetados e operados com base em critérios técnicos satisfatórios (FEAM, 2015).

O contexto atual apresenta uma situação em que a maior parte dos municípios brasileiros dispõe de uma coleta regular dentro das áreas urbanas, sendo de fácil controle da população, uma vez que sua não realização gera grandes transtornos à cidade e a seus moradores. Todavia, a disposição final dos resíduos sólidos urbanos, muitas vezes, tem sido negligenciada ou sua importância é pomenorizada. Dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – 2008 (IBGE, 2010), indicam que 50,80% dos municípios brasileiros dispõem seus resíduos sólidos urbanos em lixões. Minas Gerais em 2014 tinha cerca de 31% de seus municípios fazendo uso de lixões para destinação de seus RSUs, conforme apresentado pelo panorama da destinação de RSU no estado mineiro naquele ano (FEAM, 2015) (Tabela 15).

Tabela 15: Situação de Tratamento e/ou Disposição Final dos RSUs em Minas Gerais - 2014



Tipologia de Destinação de RSU	Nº de Municípios	
	2001	2014
Lixão	823	264
Aterro Sanitário	8	80
Aterro Sanitário não regularizado	-	45
Aterro Sanitário + UTC	-	5
UTC	22	123
UTC não regularizado	-	34
Aterro Controlado	-	278
Fora do Estado	-	3
AAFs sem verificação	-	21
<b>Somatório:</b>	<b>853</b>	<b>853</b>

Fonte: Adaptado de FEAM (2015).

A destinação final dos resíduos sólidos urbanos, no Brasil, é feita principalmente por três técnicas distintas, a saber:






➤ **Lixão ou Vazadouro**



Também conhecido como “vazadouro”, é uma técnica de disposição final de RSUs, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo, sem critérios técnicos e medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. É o mesmo que descarga a “céu aberto”, sendo considerada inadequada e ilegal no Brasil, pois acarreta problemas de saúde pública, como a proliferação de vetores de doenças (moscas, mosquitos, baratas, ratos), geração de gases que causam odores desagradáveis e intensificação do efeito estufa e poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas pelo chorume (líquido de coloração escura, malcheiroso e de elevado potencial poluidor, produzido pela decomposição da matéria orgânica contida nos resíduos), além de provocar poluição visual. Nos casos de lançamento de resíduos em encostas, é possível ainda ocorrer a instabilidade dos taludes pela sobrecarga e absorção temporária da água da chuva, podendo provocar deslizamentos (FEAM, 2010).

➤ **Aterro Controlado**



É uma técnica de confinamento de RSUs sem poluir o ambiente externo, todavia sem a implementação de elementos de proteção ambiental. Este método de disposição geralmente produz poluição localizada, não havendo impermeabilização de base, o que compromete a qualidade do solo e das águas subterrâneas, nem sistema de tratamento de lixiviados (chorume mais água de infiltração) ou de extração e queima controlada dos gases gerados. Esse método é preferível ao lixão, mas apresenta qualidade bastante inferior ao aterro sanitário, sendo conhecido como uma técnica de transição. A recuperação de um lixão como aterro controlado pode ser uma alternativa temporária para os municípios com populações inferiores a 20.000 habitantes, até que seja implantado, por meio de respectivo processo de regularização ambiental, sistema adequado de disposição final de resíduos (FEAM, 2010).

### ➤ Aterro Sanitário

É uma técnica de disposição de RSUs no solo, que não causa danos à saúde pública e ao meio ambiente, uma vez que utiliza medidas de minimização dos impactos ambientais. Tal método emprega princípios de engenharia no intuito de confinar os resíduos sólidos na menor área permissível e reduzi-los ao menor volume possível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada etapa de trabalho, ou, caso necessário, em intervalos menores. Esta técnica é relativamente simples, mas exige cuidados próprios, bem como procedimentos e metodologias característicos, incluindo sempre uma rigorosa avaliação dos impactos ambientais causados localmente e sobre as áreas de interferência e influência do aterro sanitário (FEAM, 2010).

O aterro sanitário deve contar com todos os sistemas de proteção ambiental:

- Impermeabilização de base e laterais;
- Recobrimento diário dos resíduos;
- Cobertura final das plataformas de resíduos;
- Coleta e drenagem de lixiviados;
- Coleta e tratamentos dos gases;
- Drenagem superficial;
- Tratamento de lixiviados;
- Monitoramento ambiental.

A ABNT/NBR nº 13896/1997 – “Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação”, recomenda que seja feita a construção de aterros com vida útil mínima de dez anos, sendo que seu monitoramento deve prolongar-se por, ao menos, mais dez anos após o seu encerramento (FEAM, 2010). Assim, novos usos do solo, por meio de processos de reabilitação, devem considerar que os resíduos aterrados ainda permanecem em processo de decomposição após o encerramento das





atividades por períodos relativamente longos, que podem ser superiores a 10 anos (FEAM, 2010).

### 7.1.2. Atividades Minerárias

A mineração é definida por Furman (2012) como sendo “o termo utilizado para a extração e beneficiamento de minerais que se encontram em estado natural sólidos (carvão), líquidos (petróleo bruto) e gasosos (gás natural)”. Desta forma, em uma visão ampliada, a mineração “inclui a exploração de minas subterrâneas e a céu aberto, pedreiras e poços, e todos os processos complementares para beneficiar e preparar minérios e outros materiais brutos para que sejam comercializados” (FURMAN, 2012).

Os recursos minerais são bens esgotáveis, não renováveis, tendendo à escassez conforme se progride a sua exploração. Os tipos de métodos de exploração minerária, conforme definidos por Furman (2012), são os seguintes:

- **Lavra a céu aberto:** método de bancos em cava ou encostas dependente das condições topográficas do terreno.
- **Lavra Subterrânea:** desenvolvida no subsolo em função de dois condicionantes, sendo um a geometria do corpo (inclinação e espessura) e o outro as características de resistência e estabilidade dos maciços que constituem o minério e suas encaixantes.
- **Garimpagem manual:** método onde o processo se dá pela lavagem do cascalho com equipamentos rudimentares e ferramentas manuais, podendo subdividir-se em três tipos - garimpagem manual com o auxílio da ação de águas pluviais; garimpagem manual com o auxílio da ação de águas fluviais; garimpagem manual por catas.
- **Garimpagem mecânica:** o método se utiliza de desmonte hidráulico e em seguida a seleção, porém dessa vez feita mecanicamente, podendo subdividir-se em dois tipos - garimpagem mecânica por desmonte hidráulico; garimpagem mecânica em leitos submersos com auxílio de mascarita, escafandro e chupadora.

- **Dragagem:** este método consiste na utilização de dragas que trabalham nos leitos dos rios, onde a lavra é executada contracorrente e requer o represamento do curso d'água para proporcionar condições operacionais à draga. A grande vantagem desse método consiste em reunir quatro operações em uma única, ou seja: a draga desmonta, carrega o material, transporta e beneficia numa única operação. Geralmente são utilizadas as chamadas dragas de alcatruzes e de sucção.

As atividades de mineração, claramente, causam um vultoso impacto ambiental, modificando sobremaneira a área minerada e sua vizinhança, sobretudo onde são feitos os depósitos de estéreis e de rejeitos. A magnitude do impacto aumenta quando há presença de substâncias químicas perniciosas na etapa de beneficiamento do minério. Segundo CPRM (2002), os principais problemas oriundos dos diversos tipos de mineração podem ser englobados em seis categorias:

- Poluição da água;
- Poluição do ar;
- Poluição sonora;
- Subsidência do terreno;
- Incêndios causados pelo carvão;
- Rejeitos radioativos.

Durante as etapas de implantação e operação de um empreendimento, não é verificada a ocorrência de passivos ambientais. Nestas fases são previstos impactos sobre o meio ambiente. É na etapa de desativação que se passa a ter passivos ambientais, incidentes tanto no meio natural como no antrópico. A análise isolada do termo Passivo Ambiental não é possível, sendo este associado a um impacto anteriormente ocorrido. O passivo ambiental é uma decorrência de um impacto não mitigado. Assim, o conceito de passivo ambiental decorrente da atividade minerária pode ser definido como:

“... Aquele que é gerado quando, no encerramento das atividades minerárias, não foi executada nenhuma ação ou projeto no sentido de



recuperação do meio ambiente, possibilitando o seu retorno às condições originais ou o restabelecimento das condições de equilíbrio..." (MME, 2006).

Figura 34: Ciclo de Vida básico da atividade minerária



Fonte: MME (2006).

As áreas impactadas precisam passar processos de recuperação que visam corrigir os eventuais impactos ambientais negativos, verificados em determinada atividade mineira, carecendo soluções especiais adaptadas às condições já estabelecidas. As principais áreas de um empreendimento mineiro onde medidas de recuperação podem ser aplicadas são:

- Áreas lavradas;
- Áreas de disposição de resíduos sólidos;
- Áreas de infraestrutura e circunvizinhanças.

A necessidade de recuperação de passivos ambientais de uma área minerada está vinculada diretamente à desativação, total ou parcial, de um empreendimento minerário, conforme Figura 35.

Figura 35: Desativação de minas



Fonte: MME (2006).

Pode-se, pois, elencar as principais razões para essa desativação de minas como (SANCHEZ, 2001):

- **Exaustão da jazida:** pode estar relacionada à relação custo/benefício ligada ao preço de venda do minério e/ou concentrado;
- **Obsolescência:** relaciona-se com a perda de competitividade e/ou por falta de investimentos em pesquisa na área;
- **Mercado:** flutuação de preços, negativa ao investimento, que pode ocasionar o fechamento temporário;
- **Impactos ambientais:** relacionado a fatores de ordem ambiental e social.

Os procedimentos para desativação e fechamento de minas visa caracterizar a situação em que se encontra o empreendimento mineiro assim como definir o melhor caminho para a desativação deste, considerando a necessidade de medidas de recuperação ambiental e monitoramento. Sanchez (2001), sobre este aspecto, reforça que “no mundo atual, essas obras e instalações já não podem ser abandonadas, como era concebível até, talvez, meados do século XX” (SANCHEZ, 2001). Ainda, Oliveira (2006) alerta sobre a necessidade de recuperação ambiental de áreas degradadas pela mineração:





“... Considera-se que a proteção ambiental seja cada vez mais essencial para qualquer projeto de exploração no ramo produtivo das rochas, na medida em que é necessário preservar o meio que nos rodeia para as gerações seguintes, independentemente da sua envergadura, pois a ampla maioria dos estabelecimentos extrativos é de pequeno porte e os seus impactos multiplicam-se gravemente e por grandes extensões, contíguas ou não. Por conseguinte, qualquer plano de lavra deverá adotar medidas e sistemas de proteção do ambiente, bem como um plano de recuperação ambiental e paisagística...” (OLIVEIRA, 2006).

A Lei nº 6.938/81 (Política Nacional de Meio Ambiente), que adota o critério da responsabilidade objetiva em seu artigo 14º, pelo qual “é o poluidor obrigado, independentemente da existência de culpa, a indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros, afetados por sua atividade” (BRASIL, 1981). Desta forma, o empreendedor que ao criar e operacionalizar a sua atividade cria riscos para terceiros, fica obrigado a reparar qualquer dano àquele causado.

A Portaria DNPM n.º 237/01, com base no artigo 97 do Decreto-Lei 227/1967, determina a publicação de Normas Reguladoras de Mineração (NRMs), que constituem o principal dispositivo legal sobre Fechamento de Mina formalizado por esta Portaria. Particularmente, para tratar do tema, foi criada a NRM-20, onde são definidos os procedimentos administrativos e operacionais a serem adotados no caso de “suspensão, fechamento de mina e retomada das operações mineiras” (DNPM, 2001). Também devem ser observados os conceitos prescritos na NRM 21, que trata da “reabilitação das áreas pesquisadas, mineradas e impactadas” (DNPM, 2001).

Dentro desta ótica, a recuperação e a reabilitação de áreas degradadas notabilizam-se e vêm se tornando cada vez mais imprescindíveis, em virtude da racionalização dos recursos naturais, reintegração espacial e busca por padrões mais sustentáveis.

Neste contexto, destaca-se a situação atual no estado de Minas Gerais que, conforme dados fornecidos pela FEAM (2016), possui 169 áreas classificadas como abandonadas e 231 como paralisadas, sendo 97 áreas classificadas como paralisada com controle ambiental e 134 áreas classificadas como paralisada sem controle ambiental. Ainda de acordo com a FEAM, o total

de empreendimentos de mineração com Autorização Ambiental de Funcionamento (AAF), cadastrados no SIAM, é de 3.437 (FEAM, 2015).

### *7.1.3. Formas de reparação à degradação ambiental*

A Constituição do Estado de Minas Gerais de 1989, em seu artigo 214, inciso XI, parágrafo 4º, deixa claro que “quem explorar recurso ambiental fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, na forma da lei” (MINAS GERAIS, 1989). A recuperação de uma área degradada pressupõe que sejam adotadas medidas de melhoria do meio físico que possam restabelecer a mínima condição do local, tal qual ao seu estado original ou em condições de utilização para outro fim, devendo resultar em uma paisagem estável, que promova a autossuficiência do solo e devolva a sua capacidade produtiva, restabelecendo a fauna, minimizando os níveis de poluição do ar e da água. Esta recuperação representa devolver ao ambiente uma condição de uso conforme as características preexistentes, atribuindo ao mesmo a capacidade de desenvolver uma situação de equilíbrio que permita a formação de um novo solo e de uma nova paisagem, porém compatíveis com os aspectos físicos, estéticos e sociais das áreas adjacentes podendo superar o estado paisagístico de origem.

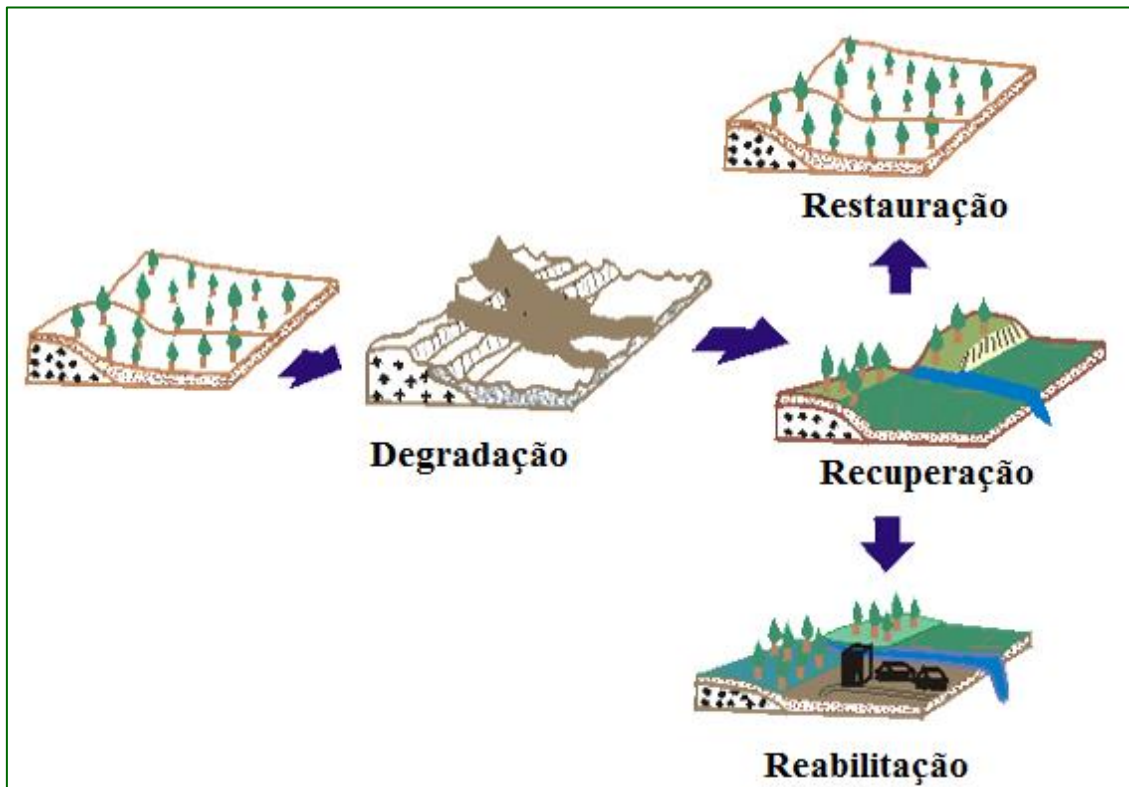
Na literatura tem-se utilizado diversos termos para conceituar o processo realizado em áreas degradadas visando o retorno de suas características mais próximas antes da ação que as deteriorou. Dentre eles destacam-se Recuperação, Reabilitação e Restauração. As definições de tais termos são muito próximas, uma vez que todas possuem um objetivo em comum, que é a melhoria das condições ambientais de uma área degradada.

Segundo Sánchez (2000), recuperação ou reabilitação inclui diferentes níveis de melhoria das condições ambientais após a degradação, dentre os quais se cita a capacitação da área para um uso produtivo (sustentável) qualquer, incluindo a criação de um ecossistema inteiramente diferente do original. O autor define que “recuperação” é o termo usado para designar o processo genérico de melhoria das condições ambientais de uma área; ao



passo que “reabilitação” é o termo que indica o processo de planejamento para tornar a área degradada apta a um novo uso.

Figura 36: Diferenças entre os processos de restauração, recuperação e reabilitação de áreas degradadas.



Fonte: Adaptado de Bitar e Braga (1995).

Ainda nesta linha de raciocínio, Bitar (1997), aliado à Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (2016), diferencia as três definições como:

- **Restauração:** é a reprodução das condições originais exatas da área antes da perturbação causada pela intervenção antrópica, caracterizando-se como uma possibilidade bastante improvável, senão, impossível (BITAR, 1997; & SÃO PAULO, 2005);
- **Recuperação:** está associada à ideia de que o local alterado deverá ter qualidades próximas à anteriores, devolvendo o equilíbrio e a estabilidade dos processos ambientais atuantes (BITAR, 1997; & SÃO PAULO, 2005);

- **Reabilitação:** é um recurso utilizado quando a solução mais viável é o desenvolvimento de atividades alternativas que se adequem ao uso humano e não aquela de reconstituir a vegetação original, mas desde que seja planejada de modo a não causar impactos negativos no ambiente (BITAR, 1997; & SÃO PAULO, 2005).

De acordo com o anteriormente relatado, a demanda por processos de recuperação de áreas degradadas é grande; uma das prioridades dos diversos níveis da sociedade, inclusive do poder público, deveria ser a promoção da atenuação de formas de degradação existentes, incentivando a recuperação de passivos ambientais, principalmente nos casos daqueles resultantes de processos de disposição final de resíduos sólidos urbanos e de atividades minerárias.

## 7.2. Implantação de usinas solares fotovoltaicas e seus impactos

Como todo empreendimento gerador de energia elétrica, as usinas solares também apresentam diversos impactos ambientais, sejam positivos ou negativos, em todo o seu ciclo de vida (TURNEY e FTHENAKIS, 2011), em variadas amplitudes e abrangências. É preciso, pois, avaliar tais impactos de forma holística, de forma a reduzi-los ou mitigá-los, no caso de serem negativos; e potencializá-los ou eficientizar seu aproveitamento, no caso daqueles tidos por positivos. Todavia, neste trabalho atem-se aos impactos causados nas fases de implantação e operação.

Como impacto ambiental pode-se entender qualquer alteração das características do sistema ambiental, seja esta física, química, biológica, social ou econômica, causada por ações antrópicas, as quais possam afetar direta ou indiretamente o comportamento de parâmetros que compõem os meios físico, biótico e/ou socioeconômico do sistema ambiental na sua área de influência (GEOCONSULT, 2012). Assim, a Resolução CONAMA 001, de 17 de fevereiro de 1986, estabelece que:





“... Artigo 1º - Para efeito desta Resolução, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II - as atividades sociais e econômicas;

III - a biota;

IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V - a qualidade dos recursos ambientais...” (MMA, 1986)

Os impactos ambientais gerados em empreendimentos de aproveitamento solar fotovoltaico estão estreitamente relacionados à sua localização, às características físico-climáticas do local de implantação e às características dos ecossistemas locais (BARBOSA, et al., 2015). Contudo, sob uma análise generalizada, os impactos negativos apresentados por sistemas fotovoltaicos são bastante reduzidos quando comparados com os impactos positivos e as vantagens de sua implantação.

Seguem alguns dos principais possíveis impactos observados de empreendimentos já em operação. Tais impactos estão estratificados em três agrupamentos específicos de fatores ambientais: meio físico, meio biótico e meio socioeconômico.

### *7.2.1. Principais impactos sobre o meio físico*

Em uma usina solar fotovoltaica, desde seu processo de construção até sua permanência, há diversos impactos no meio físico local, pois há modificações paisagísticas e muita movimentação de recursos humanos, maquinário, equipamentos e materiais que não compõem o meio onde o empreendimento será alocado. Os impactos mais expressivos no meio físico estão descritos a seguir.

#### ➤ **Alteração e/ou degradação da paisagem**

De acordo com o dicionário Aurélio, paisagem pode ser entendida como uma “extensão de território que se abrange com um lance de vista”

(FERREIRA, 2010). Para o geógrafo Carl Sauer, “não podemos formar uma ideia de paisagem a não ser em termos de suas relações associadas ao tempo, bem como suas relações vinculadas ao espaço. Ela está em um processo constante de desenvolvimento ou dissolução e substituição” (SAUER, 1998). Desta forma, na implantação de uma usina solar fotovoltaica haverá alterações na paisagem que podem variar conforme o porte e o local do empreendimento. Em casos mais severos, a paisagem pode ser deteriorada ou degradada, sendo necessárias medidas de controle, monitoramento e de mitigação. Assim, faz-se importante para as populações locais um acompanhamento e formação de consciência durante todo o processo de implantação, pois, para Sauer (1998), “no sentido cronológico, a alteração da área modificada pelo homem e sua apropriação para o seu uso são de importância fundamental”, dentro de uma análise das ciências sociais e também ambiental. A descaracterização de uma paisagem reflete aspectos visíveis de alterações no meio ambiente (SAUER, 1998).

➤ **Emissão de ruídos e alteração sonora**

Conforme a norma brasileira ABNT/NBR-10.152:1987 – Níveis de Ruído para Conforto Acústico, os máximos níveis aceitáveis conforme a finalidade a que se relaciona chega até a 60 dB (ABNT, 1987). Assim, qualquer atividade que apresente níveis superiores a esses é considerada promotora de desconforto à população, sem, contudo, implicar necessariamente em dano à saúde humana.

Portanto, devido à grande movimentação de veículos e máquinas pesadas, que emitem ruídos e podem causar alterações na sonoridade do ambiente natural e nas comunidades humanas circunvizinhas, há emissão de ruídos na área de abrangência do empreendimento, mas geralmente não chegam a causar danos à saúde humana. Contudo, essas emissões devem ser monitoradas durante todo o processo de implantação do empreendimento. Durante a fase de operação e manutenção da usina também há emissões de



ruídos, mas geralmente dentro dos níveis estabelecidos pela NBR-10.152 (ABNT, 1987).

➤ **Geração de resíduos sólidos e riscos de contaminação do solo**

Como explicitado na norma brasileira ABNT/NBR nº10.004/2004 – Resíduos Sólidos – Classificação; resíduos sólidos são “aqueles resíduos nos estados sólido e semissólidos, que resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição” (ABNT, 2004). Carneiro et al. (2001) destacam que a construção civil é considerada uma das atividades que mais geram resíduos e causam alterações no meio ambiente, em todas as suas fases, desde a extração de matérias-primas, até o final da vida útil da edificação, abarcando desde as etapas de construção até aquelas de manutenção, reforma, ampliação, desocupação e demolição (CARNEIRO, et al., 2001).

De acordo com Nass (2002), “contaminação é a presença, num ambiente, de seres patogênicos, que provocam doenças, ou substâncias, em concentração nociva ao ser humano” (NASS, 2002).

Desta forma, é fato que no canteiro de obras há geração de resíduos sólidos provenientes das atividades humanas. Há também armazenagem e manuseio de produtos químicos, como óleos e graxas, além de materiais de limpeza. Assim, com a geração destes passivos ambientais, há um risco de potencial contaminação do solo por vazamento ou acondicionamento inadequado e ineficiente destes materiais.

➤ **Geração de poeiras/gases e alterações na qualidade do ar**

Conforme a Resolução CONAMA nº003/1990, “qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora, ou ainda prejudicial à

segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade é considerado um poluente atmosférico” (BRASIL e CONAMA, 1990). Para tais poluentes, no que tange à manutenção da qualidade do ar, a Resolução estabelece uma concentração máxima permitida, característica a cada tipo de poluente, sejam eles Partículas Totais em Suspensão (PTS), fumaça, Partículas Inaláveis (PI ou PM10), Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>), Monóxido de Carbono (CO), Ozônio (O<sub>3</sub>) ou Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>) (BARBOSA, et al., 2015).

A circulação de veículos e o manuseio de máquinas e equipamentos na área do canteiro, além da deposição de materiais diversos e o manejo de materiais terrosos, podem causar, durante o andamento das obras, o lançamento de poeiras fugitivas (material particulado) e gases na atmosfera, alterando assim o padrão da qualidade do ar local. As poeiras podem depositar-se sobre áreas de vegetação e/ou em cursos d'água, causando alterações na paisagem e nos ciclos de suprimento da fauna e da população locais. A abrangência e intensidade deste impacto podem variar conforme o porte do empreendimento.






A Resolução CONAMA nº003/1990 também estabelece os chamados Níveis de Qualidade do Ar, que devem servir de parâmetro para a elaboração do “Plano de Emergência para Episódios Críticos de Poluição do Ar” (BRASIL e CONAMA, 1990). Este plano deve servir de suporte às providências que devem ser tomadas pelo empreendedor, pela comunidade local e até mesmo pelos governos de Estado e dos Municípios, com o objetivo de prevenir grave e iminente risco à saúde da população (BARBOSA, et al., 2015).

➤ **Aceleração de processos de deterioração de estradas e vias de acesso**

Para entender os impactos deste tipo de empreendimento sobre as estradas públicas, particulares e as vias de acesso ao local do canteiro de obra, é preciso entender a constituição e o planejamento dos tipos de pavimentação usuais em nosso país. De acordo com Júnior (1992), a







constituição dos pavimentos de vias públicas se dá por estruturas que apresentam camadas diversas, com espessuras muito específicas, que são executadas após a terraplenagem. As estruturas e o revestimento apresentam o intento de resistir aos esforços (sejam eles verticais, horizontais ou tangenciais) provenientes do tráfego de veículos e dos efeitos das intempéries naturais, proporcionando, ainda, aos usuários conforto, segurança e economia. O autor define a composição dos pavimentos como sendo basicamente pelas camadas: subleito, reforço de subleito (se necessário), sub-base, base e revestimento (JÚNIOR, 1992). No projeto de pavimentação, Júnior (1992) apresenta os tipos de tráfego que devem ser levados em consideração, conforme as suas características que devem atender e suportar diariamente (JÚNIOR, 1992):

- Muito leve (o fluxo de veículo é de até três veículos comerciais/dia);
- Leve (o fluxo de veículos é de até cinquenta veículos comerciais/dia);
- Médio (o fluxo de veículos é entre 51 e 400 veículos comerciais/dia);
- Pesado (o fluxo de veículos é entre 401 e 2000 veículos comerciais/dia);
- Muito pesado (o fluxo é acima de 2001 veículos comerciais/dia).

Isto posto, pode-se concluir que o aumento do fluxo de veículos e o trânsito de veículos pesados podem acelerar os processos de deterioração das estradas locais e das vias de acesso existentes, reduzindo o tempo de vida da pavimentação. Este fato ocorre principalmente por as vias não terem sido planejadas para suportar este tipo circulação ou para atender a estas demandas. Desta forma, estes danos devem ser monitorados, mitigados e restaurados após o processo de implantação do empreendimento. Deve-se atentar para os usos das vias e sua importância para o desenvolvimento das atividades cotidianas das comunidades locais, realizando um planejamento logístico de forma a causar o mínimo de impactos possíveis aos usuários diretos e indiretos destas vias (BARBOSA, et al., 2015).




➤ **Geração ou acirramento de processos erosivos e alterações do comportamento hídrico e do fluxo hidrológico superficial**

A erosão pode ser entendida, segundo (BERTONI e NETO, 2010), como um processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo, podendo ser causado pela água ou pelo vento; ou ainda, conforme (RESENDE e ALMEIDA, 1985), a erosão pode ser considerada como sendo basicamente uma reação da natureza em estabelecer um novo equilíbrio. Embora os processos erosivos sejam naturais, estes podem ser intensificados por ações de origem antrópica, pois, quando o solo passa a ser manejado para qualquer finalidade, ocorrem desequilíbrios que promovem a instabilidade do sistema (BRASIL, 1983) e, como nem sempre o destino que se dá às terras é o mais adequado, são gerados processos de degradação de solos causados, principalmente, pela erosão hídrica (MERTEN, et al., 1995). É crucial enfatizar que os diferentes tipos de solos apresentam diferentes classificações quanto à sua suscetibilidade à erosão. A suscetibilidade indica uma condição potencial, determinada por alguns fatores como a litologia, os tipos de solos, o relevo e a cobertura vegetal, entre outros.



Algumas etapas da implantação do projeto podem desencadear processos erosivos ou provocar o acirramento dos mesmos, haja vista que, com o desmate e os destocamentos do terreno, poderão ocorrer perdas da camada superficial do solo, pois as raízes carregam volumes de solo superficiais, deixando a superfície mais susceptível aos agentes erosivos. Por conseguinte, pode-se intensificar os processos naturais de transporte e migração de sedimentos arenosos à direções mais baixas, como vales de pequenos cursos d'água, podendo ocorrer assoreamentos de cursos de drenagens naturais, chegando até a afetar o comportamento hídrico local. Este impacto pode ocorrer, também, na etapa de construção das vias de acesso. Já quando as estradas estiverem efetivamente implantadas e ativas, poderão ocorrer processos erosivos em seus leitos durante o período chuvoso. Ainda nesta etapa de implantação poderão ocorrer alterações no fluxo hidrológico superficial da área de influência direta do empreendimento, tendo em vista que







alguns trechos das vias poderão conter o fluxo natural das águas, diminuindo a superfície de infiltração das águas pluviométricas. Os processos erosivos estão diretamente relacionados à dinâmica de escoamento das águas superficiais. Os procedimentos construtivos e os cuidados no controle do escoamento das águas superficiais constituem as principais medidas preventivas quanto à ocorrência destes (BARBOSA, et al., 2015).

➤ **Alterações morfológicas e instabilidade temporária da superfície**



A morfologia do solo, conforme expresso por (GUERRA, 2008), diz respeito à constituição física de algumas propriedades do solo, como: textura, estrutura, consistência, porosidade, cor e espessura dos horizontes, considerando cada perfil de solo. As características morfológicas são responsáveis por definir as possibilidades de uso do solo, o tipo de desenvolvimento vegetal e a sua capacidade de suportar as intervenções antrópicas (como obras de engenharia civil), os delineamentos do movimento de água no perfil dos solos e sua resistência à degradação por processos naturais, como a erosão.

De acordo com Anon (1995) as alterações geotécnicas são caracterizadas por processos de modificação dos materiais rochosos, na superfície terrestre ou perto dela, por meio de decomposição química e desagregação física. O autor ainda esclarece que o tipo de alteração e a natureza dos seus produtos são fortemente influenciados pelo clima e litologia local (ANON, 1995).



As alterações geotécnicas e na morfologia do solo podem causar instabilidade na sua superfície. No caso da implantação de usinas solares fotovoltaicas, podem ocorrer tais alterações, gerando instabilidade localizada no solo e nas bacias de contribuição hídrica de todo o entorno da obra, o que pode favorecer a movimentação de materiais e sedimentos arenosos, culminando em assoreamento das drenagens naturais e desencadeando processos erosivos. Geralmente, são previstas alterações no relevo original do terreno da área de intervenção, pois são necessárias, na maioria das vezes,

adequações da superfície para a instalação do empreendimento. A movimentação de terra, veículos e pessoas, além do manejo de materiais e equipamentos no local e entorno, podem acarretar também em instabilidade do terreno. Contudo, esta instabilidade tende a ser temporária, desde que monitorada em todas as etapas de obras de engenharia civil (BARBOSA, et al., 2015).

### *7.2.2. Principais impactos sobre o meio biótico*

Os processos biológicos são dinâmicos, e alterações causadas tanto pelas ações antrópicas quanto as de caráter natural ocorrem de maneira contínua, considerando-se a interdependência entre o bem-estar humano e o ambiente ecologicamente equilibrado. Contudo, a construção de uma usina solar fotovoltaica pode provocar impactos consideráveis nos ecossistemas locais, modificando os ciclos de desenvolvimento da fauna e da flora local, tanto durante a fase de construção quanto durante a permanência do empreendimento ou sua exploração. Os impactos mais expressivos no meio biótico estão descritos a seguir.


#### ➤ **Perda de cobertura vegetal**

A cobertura vegetal, além de embelezar a paisagem, possui outras importâncias para os solos. Diversos autores ressaltam a importância da vegetação na proteção do solo, principalmente contra a erosão, e que o desmatamento pode promover o surgimento de áreas de risco e movimentação do solo por escorregamentos (GUIDICINI e NIEBLE, 1983). A cobertura vegetal reduz a energia potencial das gotas de chuva, reduzindo sua capacidade de remoção de partículas do solo. Quanto mais densa a cobertura vegetal, menor a vulnerabilidade e maior a estabilidade proporcionada ao solo (CREPANI, et al., 2001).


A presença de raízes promove, ainda, a redistribuição da água da chuva, auxiliando no transporte e movimentação de minerais e nutrientes. Outras








funções que podem ser observadas são a de incrementar a resistência do solo (FILHO, 1994), protegê-lo contra a compactação e aumentar a estabilidade do solo, retirando água do mesmo por meio da evapotranspiração (GRAY e LEISER, 1982). Pode-se perceber que no momento em que são feitas alterações na cobertura vegetal, o ciclo hidrológico sofre impactos direta ou indiretamente, uma vez que são reduzidas a capacidade de infiltração e a acumulação natural da água da chuva nas zonas de alteração, nos aquíferos e, por conseguinte, sua capacidade de suprir as plantas, animais e o próprio ser humano.




Posto isto, observa-se que a remoção da vegetação e destocamento, constituintes da cobertura vegetal natural do solo pode causar impactos consideráveis na área de implantação de uma usina solar fotovoltaica (TURNEY e FTHENAKIS, 2011; & GEOCONSULT, 2012). Deve-se, portanto, realizar um monitoramento e controle adequados, de modo a controlar os riscos de concretização ou agravamento de outros impactos provenientes da perda da cobertura vegetal local.



➤ **Fragmentação de habitats**



Pode-se pensar a fragmentação como sendo a divisão em partes de uma dada unidade do ambiente, sendo que estas passam a ter condições ambientais diferentes em seu entorno. Refere-se, portanto, às alterações no habitat original, terrestre ou aquático. Neste caso, a fragmentação nada mais é do que o processo no qual um habitat contínuo é seccionado em manchas, ou em fragmentos, mais ou menos isolados (SHAEFER e HAGERDON, 1991). Considerando a fragmentação como a alteração de habitats, o resultado deste processo é a criação, em larga escala, de habitats ruins, ou negativos, para um grande número de espécies. Os fragmentos são afetados por problemas direta e indiretamente relacionados à fragmentação (BIERREGAARD-JR, et al., 1992), tal como o efeito da distância entre os fragmentos, ou o grau de isolamento e o tamanho e a forma do fragmento. O processo global de



fragmentação de habitats tem sido considerado a mais profunda alteração causada pelo homem ao meio ambiente.


A implantação de usinas solares fotovoltaicas, dependendo de seu porte, pode contribuir para a fragmentação de habitats da região onde o empreendimento será instalado. Isoladamente, na maioria dos casos, este impacto não é muito evidente ou representativo. Contudo, deve-se levá-lo em consideração quando analisado de forma holística, confrontando-o com as demais atividades e projetos previstos para a região. É preciso ponderar que, provavelmente, tal fragmentação não causará a extinção de determinada espécie, mas ocasionará a redução da biodiversidade local.

➤ **Alteração da dinâmica dos ecossistemas locais**


O termo “ecossistema” designa um complexo sistema de relações mútuas, dinâmicas e contínuas, com transferência de matéria e energia, entre o meio abiótico e os seres vivos de determinada região (MEA, 2003). É formado por componentes bióticos e abióticos e caracteriza-se pelas diferentes formas relacionais de interação entre todos estes componentes (TANSLEY, 1935). O conjunto de indivíduos e comunidades de plantas e animais que constituem um ecossistema, bem como sua idade e distribuição espacial, associado aos recursos abióticos é conhecido como “estrutura ecossistêmica”, a qual fornece as fundações sobre as quais os processos ecológicos ocorrem (TURNER e DAILY, 2007). Sabe-se que em um ecossistema, as populações de diferentes espécies que o compõem estão em equilíbrio dinâmico entre si, isto devido à interdependência natural que garante a manutenção da sobrevivência e coexistências das espécies. O equilíbrio dos ecossistemas é dinâmico, pois constantemente sofre alterações, sejam lentas ou mais abruptas, de origens naturais ou antrópicas.

Nas etapas de implantação de uma usina solar fotovoltaica percebem-se intervenções antrópicas que podem modificar a dinâmica dos ecossistemas locais. A construção de vias de acesso resulta na alteração da dinâmica ambiental da área, como a intensificação da mobilidade de sedimentos






arenosos, devido à ação do vento e das chuvas sobre o solo descampado, podendo criar ou intensificar processos erosivos e de assoreamento. Poderá causar, ainda, alterações no fluxo hidrológico superficial devido à compactação do solo e redução da permeabilidade a águas pluviométricas.





A fragmentação de habitats e as mudanças dos limites naturais das comunidades de espécies locais podem causar escassez de alimentos, forçando uma migração da fauna. A própria presença humana, intensificada durante as obras, mais significativamente na operação de veículos e máquinas, pode causar alterações no microclima local, disponibilidade de recursos naturais e interferências nos elos tróficos, bem como na rotina dos seres vivos do ecossistema local (BARBOSA, et al., 2015).

➤ **Afugentamento e fuga da fauna local**



Nos processos de retirada da vegetação e o destocamento para limpeza da área, pode ocorrer a fuga e o afugentamento da fauna local para áreas mais seguras (GEOCONSULT, 2012). Pode ocorrer ainda, a destruição de alguns locais de abrigo natural para a fauna local e até a eliminação de grupos inteiros da microfauna, devido tanto à remoção da vegetação quanto pelo revolvimento das camadas mais superficiais do solo. Algumas espécies de aves apresentam alta sensibilidade aos ambientes alterados, o que quase sempre está associada à sua dependência de ambientes florestais e de matas fechadas para abrigo (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2007). Certos répteis, principalmente lagartos e serpentes, apresentam alta tolerância às alterações antrópicas, podendo ocorrer até mesmo em áreas povoadas (ZAHER, et al., 2011). Contudo, há espécies que apresentam uma sensibilidade maior quanto às alterações no ambiente, podendo haver fuga para outras áreas. Já os anfíbios são constantemente considerados o grupo de vertebrados mais ameaçados do mundo, devido a mudanças do seu habitat original, entre outros fatores (PIATTI, et al., 2012), configurando um grupo de espécies que deve ser rigorosamente monitorado, no intuito de evitar deslocamentos desnecessários de habitat. O afugentamento da fauna local



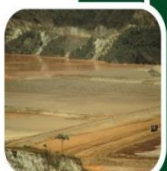
pode causar desequilíbrios tróficos e ainda superpopulações nas áreas circunvizinhas, desencadeando impactos em áreas próximas às usinas solares fotovoltaicas.

➤ **Desequilíbrio de elos tróficos de cadeias alimentares locais**


Sabe-se que os diversos organismos que compõem determinada área possuem diferentes ciclos de vida e diversificados graus de sensibilidade aos vários tipos de estresse, como o aparecimento, o desaparecimento, os aumentos excessivos ou a diminuição drástica na densidade das populações das espécies (BRASIL, 2003). Tais peculiaridades, quando confrontadas com intervenções antrópicas, como a instalação de uma usina solar fotovoltaica, podem ocasionar riscos de desequilíbrio de elos tróficos das diversas estruturas das cadeias alimentares locais. Este desequilíbrio pode ocorrer principalmente como consequência do desmate e da fuga da fauna local. Nota-se, portanto, que a fragmentação de habitats pode ser considerada como um dos potenciais fatores causadores deste tipo de impacto sobre o meio biótico, principalmente em áreas de implantação deste tipo de empreendimento.

➤ **Diminuição de potencial ecológico (atributos ambientais e biodiversidade)**



Em geral, as intervenções humanas (antrópicas) podem levar a um empobrecimento da estrutura ecológica e da diversidade da flora e da fauna locais (LIDDLE e SCORGIE, 1980). Tais ações também alteram o habitat de diversas espécies animais, chegando a ocasionar o desaparecimento de alguns grupos mais sensíveis, devido à suas peculiaridades, o que se agrava quanto menor o porte da espécie, como é o caso dos mamíferos (VAN ROOY e STUMPEL, 1995). A diminuição da área de habitat favorável ao desenvolvimento e sustentação de determinadas espécies pode levar a uma menor abundância regional destas, uma vez que esta redução inevitavelmente leva a certa diminuição da aptidão, o que significa menores taxas de









continuidade (sobrevivência e reprodução). Uma área menor de habitat de boa qualidade acarreta em menores populações, podendo ocasionar eventuais excedentes populacionais migrantes para outras áreas, onde passam a competir com as populações nativas ou residentes. Pode ocorrer, ainda, a migração para áreas de má qualidade.



A remoção de vegetação pode ocasionar certa homogeneização na comunidade de aves presentes em áreas que sofrem interferências antrópicas. No Brasil, de acordo com Silveira e Uezu (2011), algumas espécies têm se tornado comuns em ambientes modificados sob efeito das alterações antrópicas (SILVEIRA e UEZU, 2011). Os répteis desempenham papel ecológico essencial nas comunidades biológicas e o Brasil ocupa posição de destaque mundial com relação à diversidade de espécies (ZAHER, et al., 2011). Muitos répteis são muito adaptáveis e, portanto, pouco sensíveis às intervenções antrópicas, podendo coexistir com a espécie humana. Contudo, devido às reduções de atributos ambientais, como os padrões definidos de elos tróficos, pode ocorrer fuga de determinadas espécies ou ainda superpopulação de outras, invadindo as áreas circunvizinhas ao empreendimento em busca de alimento.

➤ **Riscos de acidentes com animais ou causados por animais**



A fragmentação de habitats e a descaracterização do ambiente natural podem gerar situações de risco de acidentes provocados por insetos, como mosquitos, abelhas e formigas, bem como por animais peçonhentos, como escorpiões, serpentes e aracnídeos. Deve-se, assim, observar com cautela as possibilidades de certos animais adotarem determinadas áreas do canteiro de obras e, posteriormente, da usina, como esconderijos e/ou tocas, principalmente canaletas, valas, caixas de drenagem, caixas de instalações e painéis elétricos, estruturas e suportes dos módulos fotovoltaicos e demais equipamentos, entre materiais de construção, salas escuras (almojarifados, por exemplo), banheiros, telhados, para citar alguns (BARBOSA, et al., 2015).

As mudanças nas rotas de fuga e nos limites naturais das comunidades formadas pelas espécies locais, além da remoção de tocas e esconderijos de determinadas espécies, pode causar a fuga de parte da fauna ou ainda sua invasão às áreas abrangidas pela obra e pelo empreendimento como um todo. De acordo com o Manual Básico de Estradas e Rodovias Vicinais, do DER de São Paulo (2012), a invasão de animais na pista de rolamento pode causar sérios acidentes em rodovias vicinais (SÃO PAULO, 2012). Portanto, deve-se atentar às possibilidades de trânsito de animais silvestres nas vias de acesso, especialmente as construídas para atender ao empreendimento.

### *7.2.3. Principais impactos sobre o meio socioeconômico*

A inserção de uma planta solar fotovoltaica, em determinada localidade, traz consigo uma série de impactos ambientais sobre o meio socioeconômico, sendo alguns positivos e outros negativos, podendo abranger apenas o entorno do local do empreendimento ou mesmo regiões maiores, desde o processo de implantação até sua efetiva operação comercial. Os impactos mais expressivos no meio socioeconômico estão descritos a seguir.


#### ➤ **Alteração do perfil da população**

A contratação de trabalhadores para a obra pode gerar pequena alteração no perfil da população, mas este efeito pode ser considerado pontual e localizado, sendo a principal alteração esperada o incremento na composição da população, sejam em termos quantitativos, de gênero ou ainda culturais.


Quando as contratações limitam-se à região, os efeitos de influências no comportamento cultural da população têm baixo impacto, uma vez que os fluxos migratórios ocorrerão apenas entre as proximidades da região e podendo os trabalhadores retornar diariamente aos seus lugares de origem, onde já mantêm enraizadas sólidas relações afetivas, familiares e sociais.



➤ **Geração de expectativa na população local e tensão emocional**




A possibilidade de contratação de mão-de-obra regional pode criar uma expectativa na população local quanto às possibilidades de aumento na oferta de emprego e, conseqüentemente, de renda. Contudo, as possibilidades de contratação se concentram na fase de implantação, principalmente no que se refere aos serviços de construção civil. Assim, devido à temporariedade dos contratos, pode ocorrer certa tensão emocional nos trabalhadores e suas famílias. Por isso, é importante que seja feito um bom trabalho de conscientização antes das contratações serem efetivadas.




Há ainda a expectativa de melhorias nos sistemas de energia locais e na possível redução de custos com energia elétrica. Esta expectativa pode ser positiva no sentido de trazer novas perspectivas à população.

Contudo, tanto as expectativas quanto às tensões emocionais geralmente não demonstram muita relevância neste tipo de empreendimento, justamente devido às execuções em prazos muito curtos.


➤ **Geração de emprego e renda**



Neste tipo de empreendimento é importante buscar contratação de mão-de-obra local ou regional, possibilitando melhorias na qualidade de vida das comunidades próximas e nas populações da região (GEOCONSULT, 2012). Esta melhoria é tanto financeira/material quanto emocional. Mesmo no caso de mão-de-obra especializada, recomenda-se privilegiar os recursos quanto mais próximos da região do empreendimento. Estes impactos são positivos sobre o meio socioeconômico (BARBOSA, et al., 2015).



A contratação de recursos humanos locais, ainda que em caráter temporário, resultará em pagamento de numerários, tendo como consequência natural o maior incremento do poder aquisitivo dos trabalhadores envolvidos e suas famílias.



De acordo com a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica – ABINEE -, estudos apontam para uma média de estabelecimento de 30

empregos (diretos e indiretos) por MW instalado, em todo o ciclo de vida de usinas fotovoltaicas (ABINEE, 2012).

➤ **Crescimento da economia local e aumento da arrecadação tributária**

O crescimento no volume de trabalhadores empregados no empreendimento tende a movimentar as operações comerciais locais e regionais, justamente pelo aumento da renda e do poder de compra dos grupos familiares (BARBOSA, et al., 2015). Assim, nota-se que, este aumento do poder de compra gera certo dinamismo no mercado local, tenha visto que há maior circulação de moeda. Há ainda, uma série de operações comerciais derivadas das necessidades do próprio empreendimento, como materiais de construção civil, ferramental básico, equipamentos, alimentação, dentre outros. Com efeito, com o crescimento do comércio, espera-se o aumento de arrecadação tributária.

➤ **Desconforto ambiental**


A área de instalação da usina solar fotovoltaica pode apresentar alguma instabilidade ambiental decorrente da própria temporalidade das etapas de pré-operação definitiva do empreendimento. Esta instabilidade, aliada ao armazenamento de materiais, à presença de máquinas e equipamentos pesados no local, além de sistemas temporários de fornecimento de água, energia, comunicações e esgoto, podem causar um desconforto ambiental na população local, devido aos diversos riscos associados às estas práticas inerentes ao empreendimento.

➤ **Riscos ao patrimônio arqueológico não manifesto**

Quando se tratar de obra de infraestrutura em local ainda não urbanizado, ou com aspectos superficiais de ação humana, em áreas não previamente identificadas como de interesse arqueológico, pode ocorrer de se encontrar,








fortuitamente, bens arqueológicos. Pode ocorrer dos estudos prévios não identificarem de forma efetiva os potenciais arqueológicos, podendo ocorrer danos ao patrimônio arqueológico não manifesto, o que vem causando perdas no desenvolvimento do conhecimento científico sobre as civilizações antepassadas que habitaram ou desenvolveram suas atividades na região (NEVES, 2013). Este impacto não é muito comum neste tipo de empreendimento, mas, caso ocorra, pode causar danos irreversíveis à história e à cultura local e regional.



➤ **Aumento do fluxo de veículos**



O aumento do fluxo de veículos, intensificado pelo tráfico de veículos pesados, como ônibus para transporte de trabalhadores e caminhões para transporte de materiais/equipamentos e rejeitos, pode causar transtornos às comunidades próximas ao empreendimento, como: poeiras, emissão de gases e ruídos, deterioração do sistema viário da região, podendo ainda ocasionar acidentes com pessoas e animais, ou até o afastamento destes de seu habitat natural (REIS, et al., 2014).



➤ **Crescimento do setor de serviços**

A implantação deste tipo empreendimento pode causar certo crescimento no setor de serviços local e regional, pois se pressupõe a necessidade de locação ou contratação de equipamentos pesados, além de contratação de empreiteiras para a execução da obra em diferentes etapas. Na fase de operação, pode também ocorrer contratações de serviços, como limpeza e manutenções preditivas.



➤ **Consumo de materiais**

As demandas internas da obra poderão ocasionar o aumento no consumo de materiais elétricos, de escritório e de limpeza e higiene. Se por um lado este

impacto pode ser positivo, pois aumentará a circulação de moeda e trará mais recursos ao comércio local, por outro, tem-se que atentar à possibilidade de que sejam exauridos os estoques para atendimento à população local, podendo haver breves períodos de escassez de determinados materiais. Contudo, com um planejamento adequado, é possível auxiliar os comerciantes locais a se prepararem com relação à questão da disponibilidade e perenidade de seus estoques, principalmente no período de implantação da usina solar fotovoltaica.

➤ **Aquisição de serviços especializados**


Para uma obra no porte de uma usina solar fotovoltaica, é praticamente inevitável a aquisição de serviços especializados que muitas vezes não são contemplados pelas empreiteiras locais, como topografia, geotecnia, arqueologia, testes de comissionamento, entre outros. Esta necessidade trás benefícios aos profissionais liberais, consultores e às empresas especializadas do entorno do empreendimento ou da região, aumentando a circulação de moeda e a arrecadação tributária. Contudo, pode ocorrer da região não atender a estas necessidades, sendo preciso buscar estes serviços em outras regiões, muitas vezes em cidades polo ou até mesmo nas capitais dos estados.

➤ **Riscos de acidente de trabalho**

Durante todo o processo de implantação da usina haverá riscos, em diversos graus de probabilidade e gravidade, de que ocorram acidentes de trabalho, dentro do conceito estabelecido pela Lei Federal nº 8.213/91 (BRASIL, 1991). Estes riscos se acentuam com o uso de máquinas pesadas, ferramentas de corte e o aumento do fluxo de veículos. Contudo, desde que atendidos todos os requisitos legais quanto à higiene e segurança do trabalho, os riscos reduzem-se consideravelmente (VARGAS, 2005).




➤ **Segurança operacional**




De acordo com Barreto (2010), segurança operacional pode ser entendida como “o estado no qual o risco de lesões às pessoas ou danos aos bens é reduzido ou mantido em um nível aceitável, ou abaixo do mesmo, por meio de um processo contínuo de identificação de perigos e gerenciamento dos riscos” (BARRETO, 2010). A eficiência dos equipamentos, devidamente aprovada após testes de comissionamento, aliada ao treinamento adequado dos trabalhadores que vão operá-los e a sistemas de gestão integrados, poderá possibilitar maior segurança operacional, tornando o empreendimento mais confiável a todos os stakeholders, inclusive aos usuários e clientes do sistema.

➤ **Aumento da eficiência dos equipamentos**



A maior aplicabilidade de sistemas fotovoltaicos tende a aumentar os investimentos em projetos de Pesquisa & Desenvolvimento & Inovação – P&D&I - o que, por consequência, exigiria maiores níveis de eficiência dos equipamentos componentes destes sistemas, no intuito de incrementar sua viabilidade técnica e econômica, contribuindo assim para o desenvolvimento da curva de aprendizado desta tecnologia. Assim, o uso de sistemas fotovoltaicos impulsiona seu próprio aprimoramento e aperfeiçoamento, contribuindo para o alinhamento das perspectivas nacionais e internacionais de crescimento e consolidação da geração de energia elétrica por meio da conversão direta da energia solar (SANTOS, 2011).

➤ **Aproveitamento de fonte de energia**



Conforme identificado no Mapa Solarimétrico de Minas Gerais (CEMIG, 2012), a radiação solar global diária média anual incidente sobre o estado de Minas Gerais tem seus limites entre 4,5 kWh/m<sup>2</sup> e 6,5 kWh/m<sup>2</sup>. Tem-se também neste Atlas que a radiação solar global diária média registra variações entre 3,0 e 7,5 kWh/m<sup>2</sup>-dia e apresenta um número de horas de brilho solar efetivo entre

5,0 e 9,5 horas ao longo do ano. Portanto, com a implantação de uma usina solar fotovoltaica, haverá um aproveitamento deste potencial de uma fonte limpa e gratuita, disponível na natureza, extraindo-se de sua análise de viabilidade econômico-financeira os custos de obtenção de combustível (BARBOSA, et al., 2015).

➤ **Melhoria na oferta de energia elétrica**


A operação de uma usina solar fotovoltaica pode resultar em um incremento da oferta de energia elétrica local e regional, uma vez que, por se tratar de uma produção de energia por meio de fonte renovável, representa considerável importância para suprir o setor energético durante os períodos de baixa capacidade de produção das usinas hidroelétricas que, pelo SIN, fornecem energia para a região de implantação. Além do mais, conforme o pensamento de Sauer (2002), a descentralização no fornecimento de energia elétrica pode configurar menor dependência das fontes convencionais, aumentando a confiabilidade (SAUER, 2002) e, por conseguinte, melhorando a oferta de energia local (ABINEE, 2012).

➤ **Aumento da segurança e confiabilidade no setor energético da região**


Para garantir a confiabilidade e segurança de uma usina solar fotovoltaica, faz-se necessária a aplicação de medidas específicas de proteção de modo a manter a integridade das pessoas, dos equipamentos relacionados ao sistema e do próprio sistema local. Assim, para Santos (2011), além da melhoria da eficiência, a confiabilidade dos sistemas deve ser assegurada (SANTOS, 2011). Esta confiabilidade pode ser galgada à partir dos objetivos estabelecidos pelo PROINFA, que expressa que uma forma de garantir e aumentar a confiabilidade e a segurança no abastecimento de energia elétrica de qualidade está na diversificação da matriz energética nacional, o que pode ser aplicado também à matriz energética estadual. Esta constatação, apresentada por Costa e Prates (2005), reflete o pensamento de que a








confiabilidade dos sistemas de geração de eletricidade atuais no Brasil, mantida através do estoque estratégico de energia sob a forma de água reservada, está fragilizada (COSTA e PRATES, 2005).




De acordo com Sauer (2002), sistemas centralizados têm seu grau de confiabilidade no fornecimento de energia de boa qualidade vinculado à capacidade de transmissão desta energia no SIN (SAUER, 2002). Desta forma, sistemas descentralizados contribuem para o aumento da confiabilidade de fornecimento de energia local, uma vez que dispensam grandes e complexos sistemas de transmissão, caracterizados por perdas consideráveis, sejam elas efetivas ou potenciais.




Desta forma, a implantação de sistemas descentralizados e de fontes renováveis, que contribuem para a diversificação das matrizes energéticas, caracterizam um fator de aumento da confiabilidade e segurança no fornecimento de energia elétrica (BARBOSA, et al., 2015).

### 7.3. Análise de Ciclo de Vida (ACV)



A Avaliação do Ciclo de Vida – ACV - trata-se de uma ferramenta que possibilita a análise, avaliação e quantificação dos potenciais impactos ambientais associados a um produto, serviço ou processo durante seu ciclo de vida (do berço ao túmulo). Possibilita, ainda, a identificação e classificação das contribuições mais significativas dentro dos estágios do ciclo de vida estudado. De posse de tal ferramenta, é possível aperfeiçoar o ciclo implementando melhorias ou alternativas (COUTO, 2007).



Historicamente os estudos de ACV tiveram sua gênese entre as décadas de 1960 e 1970, com as crises do petróleo, momento em que a sociedade começou a questionar sobre a perenidade e sustentabilidade dos recursos naturais, especialmente os de uso energético. Tais estudos, inicialmente, tinham um escopo estrito ao cálculo do consumo de energia e envolviam balanços de massa e de energia. Contudo, após este período de crises, houve queda no interesse e investimento no desenvolvimento desta ferramenta e em



sua aplicação prática. Apenas na década de 1980 é que houve um retorno ao ACV, tendo como principal motivadora questão ambiental. Já na década de 1990, até os dias atuais, os estudos de ACV se expandiram e se impulsionaram, principalmente com a normalização da série ISO 14.044 (ISO, 1997), publicada em 1997 pela Organização Internacional para Padronização (*International Standardization Organization – ISO*) (COUTO, 2007).

O tempo de retorno de investimento em energia (EPBT) indica o tempo necessário para que todos os fluxos de energia utilizados no ciclo de vida do sistema sejam compensados pela sua produção anual. Para quantificar o EPBT das tecnologias fotovoltaicas e seus impactos ambientais, numerosos estudos de ACV foram realizados no meio técnico-científico. Hunt (1976) foi um pioneiro na publicação de trabalhos nesta área e encontrou um EPBT de 11,6 anos para uma célula fotovoltaica de duas polegadas (2") de diâmetro (HUNT, 1976). Anos mais tarde, Schaefer e Hagerdon (1991) publicaram uma análise do estudo de energia consumida e acumulada e características ambientais correlatas de geração de energia por tecnologia fotovoltaica, identificando o tempo de retorno de investimento em energia de seis diferentes tipos de plantas de tecnologia solar fotovoltaica na Alemanha. Os resultados apresentados, dentro do estado da arte das tecnologias da época, situou-se entre 7 anos para a de silício cristalino e menos de 5 anos para os módulos baseados em silício amorfo (SHAEFER e HAGERDON, 1991). Wilson e Young (1995) encontraram, para um estudo de caso de instalações fotovoltaicas em edifícios na Inglaterra, um EPBT variando de 7,4 anos a 12,1 anos, para módulos de silício monocristalino (WILSON e YOUNG, 1996).

Pode-se encontrar diversos trabalhos posteriormente produzidos sobre o tema, para diferentes tecnologias fotovoltaicas. Destaca-se, atualmente, os estudos realizados por Jungbluth et. al. (2008), que recentemente divulgaram a atualização do inventário de toda a cadeia produtiva de dezesseis plantas de pequeno porte (3 kWp) de diferentes tecnologias fotovoltaicas conectadas à rede de distribuição na Suíça (JUNGBLUTH, et al., 2008). Esta atualização do inventário dos módulos de silício monocristalino e policristalino baseou-se em questionários enviados para indústrias na Europa e EUA, enquanto os módulos





de filmes finos (CdTe, CiS e silício amorfo) foram atualizados pela literatura. Ambos os inventários foram construídos de acordo com os requisitos do banco de dados do Ecoinvent. Os valores encontrados para o EPBT para as diferentes plantas variaram de 2,5 a 4,9 anos. De acordo com os autores, estes valores foram de 5 a 10 vezes menores do que a expectativa do tempo de vida das plantas fotovoltaicas (FUKUROZAKI e PASCHOAL, 2010).



## 8. CUSTOS E VIABILIDADE ECONÔMICA

A viabilidade econômica de usinas solares fotovoltaicas conectadas à rede deve ter em consideração que sua escala é maior do que na GD.

A ABINEE (2012) indica, para este caso que um empreendimento com capacidade de geração de 30 MW custaria R\$ 161 milhões, com valores referentes à época, sem considerar custos relacionados com a conexão à chamada Rede Básica. Isso equivaleria a vender a energia entre R\$ 362/MWh a R\$ 407/MWh, a depender da Taxa Interna de Retorno (TIR) e do sistema de amortização do investimento (ABINEE, 2012).

Já a EPE (2012) avalia que o custo de investimento para uma usina solar fotovoltaica com potência superior a 1,0 MW seria de R\$ 4.000/kWp a R\$ 6.000/kWp. Desta forma, estima-se que o preço da energia elétrica gerada por uma usina solar estaria situado entre R\$ 300/MWh a R\$ 400/MWh (EPE, 2012).

Entretanto, os leilões de energia de reserva (LER), realizados pelo Governo Federal, no caso da contratação de energia elétrica por fonte solar, mostraram uma realidade diferente: o preço médio praticado foi de R\$ 215,12/MWh, com a contratação de 890 MW; o segundo LER, realizado em agosto de 2015, teve uma contratação de 833,80 MW, a um valor médio de R\$ 301,79/MWh (SILVA, 2015); e por fim, o último LER, ocorrido em novembro de 2015, contratou 1.115 MWp a um preço médio de R\$ 297,75/MWh. Neste último LER, para o Estado de Minas Gerais houve a contratação de nove empreendimentos, totalizando cerca de 270 MW (FEAM, 2015; & EPE, 2015).

Comparativamente, segundo dados da ANEEL (2015), a menor tarifa residencial cobrada no Brasil é cerca de 26% mais cara do que o preço médio do último LER 2015, e a maior tarifa praticada chega a ser 98% mais cara (Tabela 16).







Tabela 16: Valor da energia cobrada das unidades consumidoras residenciais em 2015, descontados os impostos ICMS, PIS/PASEP e COFINS.

Sigla	B1 - Residencial (R\$/MWh)	Sigla	B1 - Residencial (R\$/MWh)
UHENPAL	589,08	EMS	464,70
CHESP	581,91	ESCELSA	464,52
FORCEL	556,23	CEMAR	464,35
CFLO	553,35	ELETROACRE	463,27
COOPERALIANÇA	553,08	ETO	462,03
HIDROPAN	546,50	CPFL Santa Cruz	459,87
LIGHT	543,46	SULGIPE	457,74
COCEL	531,99	IENERGIA	454,65
ELETROCAR	527,91	CPFL Mococa	453,59
EFLJC	527,55	EDEVP	451,60
CELPA	525,39	CAIUÁ-D	447,36
EFLUL	522,63	RGE	446,80
ENF	520,54	AmE	445,31
ELFSM	519,00	CELESC-DIS	444,36
CPFL- Piratininga	510,81	CEPISA	439,87
ELEKTRO	510,41	CEB-DIS	436,76
CEMIG-D	509,74	ELETROPAULO	436,11
AMPLA	506,92	CNEE	424,02
EMG	501,10	CPFL-Paulista	419,64
BANDEIRANTE	500,57	EPB	418,17
DMED	494,09	COELCE	417,96
CERON	492,35	CPFL Sul Paulista	415,33
COPEL-DIS	492,31	ESE	409,35
EEB	484,37	EBO	407,03
CEEE-D	483,17	CPFL Leste Paulista	406,95
MUXENERGIA	480,88	Boa Vista	406,64
AES-SUL	480,35	CELPE	395,24
DEMEI	471,32	COELBA	388,36
CELG-D	466,60	CPFL Jaguari	376,56
CEMAT	465,20	COSERN	375,90

Fonte: ANEEL (2015).

Todavia, tanto os valores apurados pela ABINEE (2012) e pela EPE (2012), quanto os praticados nos LER 2014 e 2015 são consideravelmente superiores aos verificados nos leilões para aquisição de energia nova, realizados pelo Poder Executivo (SILVA, 2015).

Sabe-se que, em empreendimentos de usinas solares fotovoltaicas, o custo na aquisição dos equipamentos é a principal causa do ainda elevado preço da energia elétrica gerada por fonte solar, mas há fortes indícios de queda dos preços dos painéis fotovoltaicos, com tendência a cair ainda mais. Para ter-se uma ideia, segundo dados da FGV Energia (2015), no mercado mundial, o custo dos módulos solares apresentou uma redução de 5 vezes nos últimos 6 anos e sua expansão está sendo mais rápida do que o esperado. Contudo, apesar da considerável queda dos preços, a fonte solar fotovoltaica ainda necessita de mecanismos de incentivo para atingir níveis competitivos. Um aspecto econômico interessante, porém, é o custo de operação e manutenção que, assim como o da energia eólica, é próximo de zero, tornando crucial que a energia elétrica gerada por esta fonte deva sempre receber prioridade de despacho quando disponível (FREITAS, et al., 2015). Assim, a EPE (2014) aponta estimativas segundo quais os custos de instalação dos sistemas fotovoltaicos deverão cair, até 2020, com as seguintes previsões de taxas de queda para cada seguimento:

- Residencial: 48,7%;
- Comercial: 46,3%;
- Planta centralizada: 54,8%.

Em consulta a empresas especializadas em comercialização de equipamentos e materiais para sistemas solares fotovoltaicos, realizada pelos autores em outubro de 2015, obteve-se os valores constantes na Tabela 17, para composição de uma usina fotovoltaica de 1 MWp. Para estes sistemas foram considerados as taxas de 1,65% de PIS e 7,60% de COFINS. O ICMS foi considerado 0%, conforme convênio CONFAZ nº101/1997, que concede isenção de ICMS nas operações com equipamentos e componentes para o aproveitamento das energias solar e eólica.



Tabela 17: Valor de sistemas de geração fotovoltaica em outubro de 2015, inclusos os impostos ICMS, PIS/PASEP e COFINS.

Sistema Fotovoltaico (kWp)	kWp	Valor por subsistema (R\$)	Quantidade de subsistemas	Valor para o Sistema de 1MWp (R\$)	kWp gerado pelo Sistema
102,00	102,00	408.743,52	10,00	4.087.435,20	1020,00
102,00 *	102,00	419.776,38	10,00	4.197.763,80	1020,00
114,70	114,70	440.044,14	9,00	3.960.397,26	1032,30
114,70 *	114,70	452.652,58	9,00	4.073.873,22	1032,30
153,00	153,00	585.451,92	7,00	4.098.163,44	1071,00
153,00 *	153,00	602.263,17	7,00	4.215.842,19	1071,00
191,25	191,25	731.822,60	6,00	4.390.935,60	1147,50
191,25 *	191,25	752.836,66	6,00	4.517.019,96	1147,50
229,50	229,50	878.177,88	5,00	4.390.889,40	1147,50
229,50 *	229,50	903.394,75	5,00	4.516.973,75	1147,50
267,70	267,70	1.024.548,56	4,00	4.098.194,24	1070,80
267,70 *	267,70	1.053.968,25	4,00	4.215.873,00	1070,80
306,00	306,00	1.170.903,84	4,00	4.683.615,36	1224,00
306,00 *	306,00	1.204.526,34	4,00	4.818.105,36	1224,00

\*Estrutura para chapa metálica.

Fonte: Adaptado de SICES (2015).

Após análise destes valores, propõe-se um arranjo com 3 subsistemas de 306 kWp (Tabela 18) e 1 subsistema de 102 kWp (Tabela 19), ambos com estruturas de chapa metálica, de modo a garantir mais segurança e durabilidade ao sistema. A configuração selecionada visa ser a que apresenta a melhor relação custo-benefício, pois as quantidades de painéis, inversores e demais componentes deste sistema de 1 MWp são dimensionadas para aproveitar ao máximo suas capacidades, reduzindo, assim, gastos por superdimensionamento.

Tabela 18: Orçamento sistema 306 kWp, em outubro de 2015.

<b>Sistema Fotovoltaico 306 kWp - Estrutura para chapa metálica</b>			
<b>Produto</b>	<b>Quant.</b>	<b>Preço Unitário com PIS/COFINS/ICMS (R\$)</b>	<b>Valor Total (R\$)</b>
CANADIAN SOLAR 60 CELLS 255 W P-SI - lote Outubro 2015	1200	721,98	866.376,00
Inversor ABB PRO 33.0-TL-OUTD-SX-400 - Trifasico 380V	8	27.018,42	216.147,36
K2 System_perfil de aluminio Speedrail 22 L 6,1 MT	352	117,34	41.303,68
K2 System_perfil de aluminio Speedrail 22 L 2,0 MT	144	46,83	6.743,52
K2 System_Speedclip	5888	3,78	22.256,64
K2 System_parafuso metalico autoperfurante	11776	1,78	20.961,28
K2 System_terminal final 39..41MM for CAN	240	7,70	1.848,00
K2 System_terminal intermediario 39..44MM for CAN/AVP	2280	7,70	17.556,00
Cabo Solar 6MM<1000V_preto	960	5,26	5.049,60
Cabo Solar 6MM<1000V_vermelho	960	5,26	5.049,60
PHOENIX CONTACT PZ - fêmea	48	12,55	602,40
PHOENIX CONTACT PZ – macho	48	12,55	602,40
<b>Total:</b>			<b>1.204.496,48</b>

Fonte: SICES (2015).

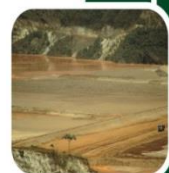




Tabela 19: Orçamento sistema 102 kWp, em outubro de 2015.

<b>Sistema Fotovoltaico 102 kWp - Estrutura para chapa metálica</b>			
<b>Produto</b>	<b>Quant.</b>	<b>Preço unitario com PIS/COFINS/ICMS (R\$)</b>	<b>Valor Total (R\$)</b>
CANADIAN SOLAR 60 CELLS 255 W P-SI - lote Outubro 2015	400	721,98	288.792,00
Inversor ABB PRO 33.0-TL-OUTD-SX-400 - Trifasico 380V	3	27.018,42	81.055,26
K2 System_ perfil de aluminio Speedrail 22 L 6,1 MT	80	117,34	9.387,20
K2 System_ perfil de aluminio Speedrail 22 L 4,0 MT	160	84,30	13.488,00
K2 System_Speedclip	2000	3,78	7.560,00
K2 System_parafuso metalico autoperfurante	4000	1,78	7.120,00
K2 System_terminal final 39.41 MM for CAN	160	7,70	1.232,00
K2 System_terminal intermediario 39..44MM for CAN/AVP	720	7,70	5.544,00
Cabo Solar 6MM<1000V_preto_TECSUN PRYSMIAN	450	5,26	2.367,00
Cabo Solar 6MM<1000V_vermelho_TECSUN PRYSMIAN	450	5,26	2.367,00
PHOENIX CONTACT PZ - fêmea	34	12,55	426,70
PHOENIX CONTACT PZ - macho	34	12,55	426,70
<b>Total:</b>			<b>419.765,86</b>

Fonte: SICES (2015).

Assim, os resultados de custo inicial ficam conforme a Tabela 20:

Tabela 20: Composição do sistema de geração fotovoltaica de 1MWp em outubro de 2015, descontados os impostos ICMS, PIS/PASEP e COFINS.

<b>Sistema Fotovoltaico (kWp)</b>	<b>Valor por subsistema inclusos PIS/COFINS/ICMS (R\$)</b>	<b>Valor por subsistema descontados PIS/COFINS/ICMS (R\$)</b>	<b>Quantidade de subsistemas</b>	<b>Valor para o Sistema de 1MWp (R\$)</b>	<b>kWp gerado</b>
306,00 *	1.204.526,34	1.102.541,27	3,00	3.307.623,82	918,00
102,00 *	419.776,38	384.234,67	1,00	384.234,67	102,00
<b>Total:</b>				<b>3.691.858,49</b>	<b>1020,00</b>

\*Estrutura para chapa metálica.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para uma análise generalista da viabilidade econômica de uma usina solar fotovoltaica de 1 MWp, tem-se como premissa, para este relatório, o período de 30 anos, que corresponde à média de expectativa de vida útil dos painéis fotovoltaicos, que são os principais equipamentos deste tipo de sistema de geração de energia elétrica. Considera-se, também, que o tempo médio de vida útil dos inversores é de 10 anos e dos demais equipamentos do sistema é de 30 anos. Assim, para os subsistemas, extraiu-se o valor correspondente aos inversores, visto que estes têm tempo de vida útil diferente dos demais. Considera-se, ainda, o custo dos serviços de instalação de cerca de 20% do valor dos equipamentos.

Assim, o custo de um sistema fotovoltaico durante 30 anos leva em consideração o valor dos serviços de instalação bem como o valor inicial dos equipamentos e suas substituições ao final da vida útil: 1x o custo dos painéis e componentes de estruturas de fixação e cabeamento; e 3x o custo dos inversores (Tabela 21).

Tabela 21: Custo total do empreendimento em 30 anos.

Equipamento	Quant.	Aquisições em 30 anos	Valor do subsistema descontados PIS/COFINS/ICMS (R\$)	Valor dos serviços de instalação (R\$)	Custo total dos subsistemas (R\$)
Sistema FV 306,00 (kWp) *	3,00	1,00	904.694,72	180.938,94	3.256.900,99
Sistema FV 102,00 (kWp) *	1,00	1,00	310.042,22	62.008,44	372.050,66
Inversor ABB PRO 33.0-TL-OUTD-SX-400 - Trifásico 380V	11,00	3,00	24.730,82	4.946,16	979.340,44
<b>Total:</b>					<b>4.608.292,09</b>

\*Estrutura para chapa metálica.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com os dados do valor a ser pago durante os 30 anos de vida útil do sistema, é preciso encontrar a quantidade de energia produzida durante este mesmo período, de modo a possibilitar uma comparação com o caso padrão de



um consumidor usuário dos serviços de concessionárias de distribuição de energia elétrica.

Assim, tem-se que este sistema de 1,02 MWp durante um tempo médio de horas solares diárias de 6 horas ao longo de todo o ano, para o Estado de Minas Gerais, durante 30 anos, gerará a quantidade de energia expressa a seguir:

$$1.020 [kW] \times 6[h] \times 365[di\text{as}] \times 30[anos] = 67,014 [GWh]$$

Assim, o custo da energia solar fotovoltaica deste sistema conectado à rede corresponde a:

$$\frac{4.608.292,09[R\$]}{67.014[MWh]} = 68,766[R\$/MWh]$$

Estes cálculos são muito simplistas, pois não consideram as taxas de juros e nem os impostos incidentes, bem como as correções monetárias. Da mesma forma, considera-se que o valor das tarifas permanece constante ao longo dos 30 anos de vida útil da usina. Contudo, servem de base para uma análise que prevê uma viabilidade na implantação deste tipo de sistema em detrimento das tarifas praticadas atualmente para os serviços de distribuição de energia elétrica no Brasil. Em uma análise mais aprofundada é preciso considerar ainda a redução da eficiência dos sistemas ao longo do tempo, bem como os custos referentes aos impactos ambientais e sociais, talvez por meio da valoração do capital natural e com a inclusão de uma análise de ciclo de vida.

## 9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES



Este estudo apresentou uma proposta de reabilitação de áreas degradadas, contribuindo para a redução de passivos ambientais resultantes de impactos ambientais negativos não mitigados até o encerramento das atividades de empreendimentos de mineração e/ou disposição de resíduos sólidos urbanos. Neste contexto, destaca-se a implantação de empreendimentos solares fotovoltaicos que têm se mostrado uma alternativa viável, do ponto de vista integrado dos pilares do desenvolvimento sustentável.

A instalação de sistemas fotovoltaicos em áreas degradadas e ambientalmente recuperadas tem o propósito de produzir conhecimento técnico e científico à respeito da geração de energia elétrica por meio das tecnologias de conversão fotovoltaicas e de sua inserção nas matrizes elétrica energética do Estado de Minas Gerais e do Brasil, propiciando ainda um destino final à área recuperada, uma vez que tais áreas costumam apresentar restrições muito austeras quanto ao seu uso futuro. Objetivou-se, pois, apresentar um histórico do uso da energia solar fotovoltaica pelo mundo, bem como o potencial de geração de energia elétrica por fonte solar no Brasil, com foco no estado de Minas Gerais. Constatou-se, de posse dos dados apresentados, que os índices de irradiação solar global para o território mineiro são superiores àqueles encontrados em países europeus, como a Alemanha, cujo estado da arte do uso desta tecnologia está mais avançado e desenvolvido do que no Brasil.



Para o desenvolvimento e evolução do uso de sistemas fotovoltaicos no Brasil, é necessário que ocorram investimentos em políticas públicas que incentivem a aquisição e adoção desta tecnologia de geração distribuída. É possível concluir que estas ações proporcionariam maior diversificação das matrizes energéticas nacional e estadual, contribuindo para a superação da crise hídrica e energética, uma vez que reduziria a dependência de uma única fonte de geração de eletricidade. Desta forma, este estudo dá indícios que o investimento em tecnologias solares, na atual conjuntura, favoreça um incremento positivo na segurança energética do estado de Minas Gerais.








Há que se atentar que a escolha da região ou regiões para implantação de usinas fotovoltaicas deve estar alinhada às possibilidades de alavancar o desenvolvimento social e econômico local, com o mínimo de impactos ambientais. Desta forma, a proposta de implantação deste projeto piloto traz em si uma responsabilidade social e ambiental que preza pelo crescimento do indivíduo e da comunidade à qual pertence, bem como sua integração com o meio em que vive. A atividade de geração de energia por fonte renovável tende a trazer diversos benefícios às comunidades que foram afetadas direta ou indiretamente pelos impactos negativos das atividades minerárias ou de disposição de RSUs, visando, ainda, a possibilidade de redução dos custos envolvidos na recuperação ambiental. Além do mais, a utilização de tais áreas com a finalidade de geração de energia elétrica pode ainda ajudar na garantia de sua preservação, pois pode evitar ocupações irregulares, bem como o uso inadequado e inseguro da mesma.



Este relatório apresentou, também, uma análise geral da viabilidade econômica e dos custos de um investimento deste porte no Brasil e no estado de Minas Gerais. É uma análise generalista e que serve apenas como fator instigador ao fomento de políticas públicas que incentivem a maior aplicabilidade das tecnologias fotovoltaicas, fortalecendo uma corrente de pensamento que visa diversificar a matriz energética/elétrica de Minas Gerais e do Brasil, no intuito de garantir maior segurança energética, bem como a autonomia no suprimento energético estadual e nacional. A proposta do projeto piloto traz em si o ideal de se tornar uma referência que possibilite novas aplicações em outras áreas degradadas que ainda não tenham sido recuperadas totalmente ou que estejam em processo de recuperação.



Buscou-se, pois, apresentar ferramentas e técnicas que podem auxiliar uma análise mais holística para a seleção de potenciais áreas para implantação de empreendimentos fotovoltaicos, seja por fatores de impactos sociais (antropológicos) ou ambientais (físicos e bióticos).



## REFERÊNCIAS

[ABINEE], Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica, 2012. Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira. [Online] Disponível em: <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf> [Acesso em 27 de maio de 2015].

[ABNT], Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1987. NBR 10.152: Níveis de Ruído para Conforto Acústico. Rio de Janeiro: ABNT.

[ABNT], Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997. NBR 13.896: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT.

[ABNT], Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004. NBR-10.004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT.

ACKERMANN, T., ANDERSSON, G. & SÖDER, L., 2001. Distributed generation: a definition. *Electric Power Systems Research*, 20 abril, 57(3), pp. 195-204.

AHMED, R., 2015. Quantum dots: The pros and cons in PV. [Online] Disponível em: [http://www.pv-magazine.com/archive/articles/beitrag/quantum-dots--the-pros-and-cons-in-pv-\\_100010173/572/#axzz3rldyvy00](http://www.pv-magazine.com/archive/articles/beitrag/quantum-dots--the-pros-and-cons-in-pv-_100010173/572/#axzz3rldyvy00) [Acesso em 13 de novembro de 2015].

ALIVISATOS, A. P., 1996. Semiconductor Clusters, Nanocrystals, and Quantum Dots. *Science*, 16 fevereiro, 271(5251), pp. 933-937.


ALMEIDA, G.S.M., 2013. Pesquisa e Desenvolvimento de um Sistema Termoelétrico do tipo Linear Fresnel Reflector. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis). s.l., Portugal : Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

ALTENER, 2004. Energia Fotovoltaica - Manual sobre tecnologias, projecto e instalação. s.l.:Projecto GREENPRO.

AMBIENTE ENERGIA, P. E., 2010. Preço dos painéis solares fotovoltaicos cairá 60% até 2020. [Online] Disponível em: <http://www.portal-energia.com/preco-dos-paineis-solares-fotovoltaicos-caira-60-ate-2020/> [Acesso em 13 de setembro de 2015].

[ANEEL], Agência Nacional de Energia Elétrica, 2008. Atlas de energia elétrica do Brasil. 3ª ed. Brasília: ANEEL.






[ANEEL], Agência Nacional de Energia Elétrica, 2015. Capacidade de Geração do Brasil. [Online] Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm> Acesso em 10 de setembro de 2015].

[ANEEL], Agência Nacional de Energia Elétrica, 2015. Tarifas Residenciais. [Online] Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=493> [Acesso em 2015 de dezembro de 2015].


ANON, 1995. The description and classification of weathered rocks for engineering purposes. *Quartely Journal of Engineering*, Issue 28.



[ASPE], Associação dos Serviços Públicos de Energia do Estado do Espírito Santo, 2013. A Energia Solar no Espírito Santo - Tecnologias, aplicações e oportunidades. Vitória: ASPE.


ASSUNÇÃO, H. D., 2014. Degradação de módulos fotovoltaicos de silício cristalino instalados no DEE - UFC. Fortaleza: UFC.

BARBOSA, W. P. F. & AZEVEDO, A. C. S. d., 2013. Discussão sobre a minuta de Resolução CONAMA sobre o licenciamento ambiental de usinas eólicas em superfície terrestre, Belo Horizonte: FEAM.




BARBOSA, W. P. F., AZEVEDO, A. C. S. d., COSTA, A. L. & PINHEIRO, R. B., 2014. O Uso da Análise Hierárquica como Auxílio na Tomada de Decisão de Políticas Públicas em Energia Solar Considerando Aspectos de Sustentabilidade. Issue IX.

BARBOSA, W. P. F., AZEVEDO, A. C. S. d., COSTA, A. L. & PINHEIRO, R. B., 2014. O Uso da Análise Hierárquica como Auxílio na Tomada de Decisão de Políticas Públicas em Energia Solar Considerando Aspectos de Sustentabilidade. Florianópolis, s.n.



BARBOSA, W. P. F., AZEVEDO, A. C. S. d., COSTA, A. L. & PINHEIRO, R. B., 2015. Estudo para penetração de investimentos em Energia Solar Fotovoltaica no Estado de Minas Gerais. In.: *Energia e Direito*. Rio de Janeiro: Lumen Juris.

BARBOSA, W. P. F. et al., 2015. Expansão da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: Impactos Ambientais e Políticas Públicas. Conferência Internacional LINKS 2015.



BARRETO, A. M., 2010. SGSO – Sistemas de Gerenciamento da Segurança Operacional. [Online] Disponível em: <http://www.pilotopolicial.com.br/sgso-sistemas-de-gerenciamento-da-seguranca-operacional/> [Acesso em 19 de março de 2015].



BENEVIDES, A. B. Y., BORTOLOSSO, C. & OLIVEIRA, M. B., 2010. Diodos emissores de Luz (LEDs), Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BERTONI, J. & NETO, F. L., 2010. Conservação do solo. 7ª ed. São Paulo: Ícone.

BIANCHINI, H M., 2013 Avaliação comparativa de sistemas de energia solar térmica. Dissertação (Graduação em Engenharia Elétrica). s.l. : Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

BIERREGAARD-JR, R. O. et al., 1992. The Biological Dynamics of Tropical Rainforest Fragments. *BioScience*, 42(nº 11).

BITAR, O. Y., 1997. Avaliação da Recuperação de Áreas Degradadas por Mineração na Região Metropolitana de São Paulo. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia de Minas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: USP.

BITAR, O. Y.; BRAGA, T. de O., 1995. O meio físico na recuperação de áreas degradadas. Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

BRASIL, Câmara dos Deputados, 2012. Constituição da República Federativa do Brasil (1988). Ed. 35ª. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara.

BRASIL, Presidência da República, 2004. Decreto Nº 5.163 de 30 de Julho de 2004. Brasília: Casa Civil.

BRASIL, 1991. Lei Federal Nº 8.213. Brasília: Diário Oficial da União.

BRASIL, Presidência da República, 1981. Decreto-Lei Nº 6.938 de 31 de Agosto de 1981. Brasília: Casa Civil.

BURGI, A. S., 2013. Avaliação do potencial técnico de geração elétrica termossolar no Brasil a partir de modelagem em SIG e simulação de plantas virtuais. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) . s.l. : Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CARNEIRO, A. P., CASSA, J. . C. S. & BRUM, I. A. S., 2001. Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção – Projeto Entulho. Salvador: EDUFBA.


[CCEE], Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, 2015. Como participar - Ambiente livre e ambiente regulado. [Online] Disponível em: [http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/como-participar/ambiente-livre-ambiente-regulado?\\_adf.ctrl-](http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/como-participar/ambiente-livre-ambiente-regulado?_adf.ctrl-)









state=1ddv0nwy7n\_88&\_afrLoop=52706203542721 [Acesso em 30 de setembro de 2015].



[CCEE], Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, 2015. Como participar - Entenda o Mercado e a CCEE. [Online] Disponível em: [http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/como-participar/participe/entenda\\_mercado?\\_afrLoop=52393500437883#%40%3F\\_afrLoop%3D52393500437883%26\\_adf.ctrl-state%3D1ddv0nwy7n\\_75](http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/como-participar/participe/entenda_mercado?_afrLoop=52393500437883#%40%3F_afrLoop%3D52393500437883%26_adf.ctrl-state%3D1ddv0nwy7n_75) [Acesso em 30 de setembro de 2015].




[CCEE], Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, 2015. Onde Atuamos - Setor Elétrico. [Online] Disponível em: [http://www.ccee.org.br/portal/faces/oquefazemos\\_menu\\_lateral/leiloes?\\_afrLoop=52142241002543#%40%3F\\_afrLoop%3D52142241002543%26\\_adf.ctrl-state%3D1ddv0nwy7n\\_17](http://www.ccee.org.br/portal/faces/oquefazemos_menu_lateral/leiloes?_afrLoop=52142241002543#%40%3F_afrLoop%3D52142241002543%26_adf.ctrl-state%3D1ddv0nwy7n_17) [Acesso em 30 de setembro de 2015].



[CEMIG], Companhia Energética de Minas Gerais, 2011. Notícias - CEMIG constrói primeira usina solar em caráter comercial. [Online] Disponível em: [http://www.CEMIG.com.br/sites/Imprensa/pt-br/Paginas/CEMIG\\_constroiu\\_usina\\_solar.aspx](http://www.CEMIG.com.br/sites/Imprensa/pt-br/Paginas/CEMIG_constroiu_usina_solar.aspx) [Acesso em 10 de agosto de 2015].


[CEMIG], Companhia Energética de Minas Gerais, 2012. Atlas Solarimétrico de Minas Gerais. Belo Horizonte: CEMIG.



[CEMIG], Companhia Energética de Minas Gerais, 2013. Gol de Placa. Energia da Gente, junho, Issue 99, pp. 08-08.

[CGEE], Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010. Energia solar fotovoltaica no Brasil: subsídios para tomada de decisão: Série Documentos técnicos 2. Brasília: CGEE.

[COGEN], Associação da Indústria de Cogeração de Energia, 2012. GT COGEN Solar - Inserção da Energia Solar no Brasil”, São Paulo: COGEN/PSR.



COSTA, R. C. d. & PRATES, C. P. T., 2005. O Papel das Fontes Renováveis de Energia no Desenvolvimento do Setor Energético. BNDES Setorial, março. Issue 21.

COUTO, L., 2007. Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão. Campinas: CETEA/ITAL.

[CPRM], Serviço Geológico do Brasil, 2002. Perspectivas do Meio Ambiente do Brasil - Uso do subsolo. Brasília: MME - Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/pdf/cprm.pdf> [Acesso em 29 de janeiro de 2016].



CREPANI, E. et al., 2001. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: INPE.

CRUZ, J. L. C., 2013. Sistema de Geração. O Setor Elétrico.

CUBEROS, F. L., 2008. Novo modelo institucional do Setor Elétrico Brasileiro: análise dos mecanismos de mitigação de riscos de mercado das distribuidoras, São Paulo: USP.

[DASOL], Departamento Nacional de Aquecimento Solar, 2012. Moradores do Sul de Minas podem economizar até 50% na conta de luz. [Online] Disponível em: <http://www.dasolabrava.org.br/2012/10/moradores-do-sul-de-minas-podem-economizar-ate-50-na-conta-de-luz/> [Acesso em 26 de novembro de 2015].

[DER-SP], Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo, 2012. Manual Básico de Estradas e Rodovias Vicinais. São Paulo: DER/SP.

DIAS, M. V. X., 2005. Geração Distribuída no Brasil: Oportunidades e Barreiras, Itajubá: Universidade Federal de Itajubá.

DIAS, M. V. X., BORTONI, E. d. C. & HADDAD, J., 2005. Geração distribuída no Brasil: oportunidades e barreiras. Revista Brasileira de Energia, 11(2), pp. 137-156.

DIENSTMANN, G., 2009. Energia Solar: Uma comparação de tecnologias. Dissertação (graduação em Engenharia Elétrica). s.l. : Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

[DNPM], Departamento Nacional de Produção Mineral, 2001. Portaria DNPM Nº 237 de 18 de Outubro de 2001. Brasília: DOU.

DUNHAM, M. T.; IVERSON, B. D., 2014. High-efficiency thermodynamic power cycles for concentrated solar power systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 30, p. 758–770.

EA, E. S., 2015. Solar Térmica alta temperatura. [Online] Disponível em: <http://pt.solar-energia.net/solar-termica/temperatura-alta> [Acesso em de novembro de 2015].

ELEKTRO, E. e. S. S., s.d. Manuais Elektro de Eficiência Energética: Segmento Industrial - Geração de Vapor e Calor, São Paulo: Casa Paulistana Comunicação & Design.

EL-KHATTAM, W. & SALAMA, M., 2004. Distributed generation technologies, definitions and benefits. Electric Power Systems Research, 71(2), pp. 119-128.





[EPE], Empresa de pesquisa Energética, 2015. 2º Leilão de Energia de Reserva viabiliza investimento de R\$ 6,8 bi, Rio de Janeiro: EPE.

[EPE], Empresa de Pesquisa Energética, 2014. Balanço Energético Nacional 2014: Ano base 2013. Rio de Janeiro: EPE.

[EPE], Empresa de Pesquisa Energética, 2014. Leilão de Energia de Reserva de 2014 - Participação dos Empreendimentos Solares Fotovoltaicos: Visão Geral, Rio de Janeiro: EPE.

[EPE], Empresa de Pesquisa Energética, 2013. Fontes eólica e solar lideram inscrições no leilão de energia para o ano de 2016, Rio de Janeiro: EPE.

[EPE], Empresa de pesquisa Energética, 2012. Análise da Inserção da geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira. Rio de Janeiro: EPE.

[ESRI], Environmental Systems Research Institute, 2014. ArcGis 10. s.l.:s.n.

EUROPA PRESS. Comunicado: SolFocus anuncia sistemas líderes de Concentrador Fotovoltaico (CPV) con una eficiencia del 25%. Madri, 14/11/2008. Disponível em: <http://www.europapress.es/economia/noticia-comunicado-solfocus-anuncia-sistemas-lideres-concentrador-fotovoltaico-cpv-eficiencia-25-20081114093504.html#> [Acesso em 05 de novembro de 2015].

FARIAS, D. B., 2013. Estudo do processo de purificação do silício grau metalúrgico na fabricação de células fotovoltaicas, Santo André: Centro Universitário Fundação Santo André.

[FEAM], Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2016. Cadastro de minas paralisadas e abandonadas no Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: FEAM. Disponível em: [http://www.FEAM.br/images/stories/2016/AREAS\\_DEGRADADAS/Cadastro\\_Minas\\_Paralisadas\\_e\\_Abandonadas\\_2016l.pdf](http://www.FEAM.br/images/stories/2016/AREAS_DEGRADADAS/Cadastro_Minas_Paralisadas_e_Abandonadas_2016l.pdf) [Acesso em 27 de janeiro de 2015].

[FEAM], Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2015. 3º Inventário de áreas impactadas pela mineração do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: FEAM. Disponível em: [http://FEAM.br/images/stories/2016/DECLARACOES\\_AMBIENTAIS/Areas\\_Impactadas\\_Mineracao/3\\_Inventario\\_de\\_Areas\\_Impactadas\\_Pela\\_Mineracao\\_MG\\_2015.pdf](http://FEAM.br/images/stories/2016/DECLARACOES_AMBIENTAIS/Areas_Impactadas_Mineracao/3_Inventario_de_Areas_Impactadas_Pela_Mineracao_MG_2015.pdf) [Acesso em 29 de janeiro de 2016].

[FEAM], Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2015. Discussões sobre o Desenvolvimento Sustentável por meio de fontes renováveis na matriz elétrica do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: FEAM. Disponível em: [http://www.FEAM.br/images/stories/2015/PeD/DISCUSS%C3%95ES\\_SOBRE\\_](http://www.FEAM.br/images/stories/2015/PeD/DISCUSS%C3%95ES_SOBRE_)



O\_DESENVOLVIMENTO\_SUSTENT%81VEL\_POR\_MEIO\_DE.pdf  
[Acesso em 10 de dezembro de 2015].

[FEAM], Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2012. Avaliação preliminar do aproveitamento da energia solar térmica no Estado de Minas Gerais: diagnóstico da situação atual e perspectivas. Belo Horizonte: FEAM.

[FEAM], Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. Reabilitação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos. Belo Horizonte: FEAM.

FERREIRA, A. B. d. H., 2010. Aurélio século XXI: o dicionário da Língua Portuguesa. 5ª ed. Rio de Janeiro: Positivo.

FILHO, O. A., 1994. Cartas de risco de escorregamento: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela, SP. São Paulo: Universidade de São Paulo.

FILHO, V.C.P., 2013. Análise experimental de um sistema solar com concentrador cilindro parabólico. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). s.l., Brasil : Universidade Federal de Santa Catarina.

FORTES, M. Z.; FERREIRA, V. H.; DIAS, B. H.; GOMES, F., 2013. Introdução à Engenharia - Conceitos iniciais para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos em residências. Juíz de Fora: UFJF/UFF.

FRANCO, A. P., 2013. Sistemas Fotovoltaicos: contextualização e perspectivas para sua massificação no Brasil. Lavras: UFLA, Universidade Federal de Lavras.

FREITAS, B. M. R. d., HOLLANDA, L. & RUIZ, R. H. d., 2015. Energias Renováveis Complementares. Ano 2 ed. Rio de Janeiro: FGV Energia.

FUKUROZAKI, S. H. & PASCHOAL, J. O. A., 2010. Avaliação do ciclo de vida de tecnologias fotovoltaicas: panorama atual do tempo de retorno de investimento em energia e custos associados. III Congresso Brasileiro de energia Solar.


FURMAN, M., 2012. Mineração e o Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAbccAF/mineracao-meio-ambiente> [Acesso em: 29 de janeiro de 2016].

[GEOCONSULT], Consultoria, Geologia e Meio Ambiente, 2012. Relatório de Impacto Ambiental - RIMA - Central Geradora Solar Fotovoltaica Tauá, Fortaleza: s.n.

GOMES, L. F. A. M., GONZÁLEZ, M. C. A. & CARIGNAMO, C., 2004. Tomada de decisões em cenários complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão. s.l.:Thomson.








GRAY, G. L. & Leiser, A. J., 1982. Role of vegetation in stability and protection of slopes. Biotechnical slope protection and erosion control. New York: Van Nostrand Reinhold Company.

GUEDES, L. d. M., 2013. Alocação de unidades de geração distribuída considerando perdas e aspectos econômicos, Brasília: s.n.


GUERRA, A. T., 2008. Novo dicionário geológico-geomórfico. 6ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.

GUIDICINI, G. & NIEBLE, C. M., 1983. Estabilidade de taludes naturais e de escavação. São Paulo: Editora Blücher.



HINRICHS, R. A. & KLEINBACH, M., 2011. Energia e Meio Ambiente. 4ª ed. São Paulo: CENGAGE LEARNING.

HUNT, L. P., 1976. Total energy use in the production of silicon solar cells from raw materials to finished product. 12th IEEE PV Specialists Conferences, pp. 347-352.



[IBGE], Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - 2008. Rio de Janeiro: IBGE. [Online] Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb2008/PNSB\\_2008.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf) [Acesso em 21 de janeiro de 2016].

[ICLEI], Governos Locais pela Sustentabilidade, 2010. Belo Horizonte - MG, Brasil No caminho do sol – os passos de Belo Horizonte rumo à lei solar, Belo Horizonte: ICLEI.

[ICLEI], Governos Locais pela Sustentabilidade, 2014. ICLEI Resíduos. [Online] Disponível em: [http://www.iclei.org.br/residuos/site/?page\\_id=2444](http://www.iclei.org.br/residuos/site/?page_id=2444) [Acesso em 8 de setembro de 2015].



[INEE], Instituto Nacional de Eficiência Energética, 2002. Geração Distribuída e conexão ao Sistema Elétrico. Brasília: INNE.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Energia. Células solares quebram barreira dos 40% de eficiência. 12/12/2006. Disponível em: <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010115061212#.VkCS0NKrS1t> [Acesso em 05 de novembro de 2015].

[IRENA], International Renewable Energy Agency, 2012. Renewable Energy Technologies: Cost analysis series-Concentrating Solar Power. s.l. : IRENA.





[ISO], International Standardization Organization, 1997. ISO 14.0444: Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. 1ª ed. Geneva: ISO.

JUNGLUTH, N., DONES, R. & FRISCHKNECHT, R., 2008. Life Cycle Assessment of Photovoltaics: update of theecoinvent database. s.l.:Materials Research Society.

JÚNIOR, F. A., 1992. Manual de Pavimentação Urbana. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

KAMAT, P. V., 2008. Quantum Dot Solar Cells. Semiconductor Nanocrystals as Light Harvesters. The Journal of Physical Chemistry C, 112(48), p. 18737–18753.

LEITE, A. C., 2007. Hans Albrecht Bethe - Fusão nuclear, Itajubá: UNIFEI.

LIDDLE, M. J. & SCORGIE, R. A., 1980. The effects of recreation on freshwater plants and animals: A review. Journal Biological Conservation, 17(3º).

(MA), M. E. A., 2003. Ecosystem and Human Well-Being: a framework for assessment. Washington: Island Press.

MACHADO, C. T. & MIRANDA, F. S., 2014. Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão. Revista Virtual de Química, 14 outubro, Volume 7, pp. 126-143.

MALAGUETA, D. C., 2013. Avaliação de alternativas para introdução da geração elétrica termossolar na matriz energética brasileira. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: RFRJ/COPPE.

MANSUR, H. S., 2010. Quantum dots and nanocomposites. Journal Wiley Interdisciplinary Reviews: Nanomedicine and Nanobiotechnology, 26 janeiro, 2(2), pp. 113-129.

[MAPA], Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 1983. Manejo e Conservação do Solo e da Água: informações técnicas. Brasília: Secretaria Nacional de Produção Agropecuária.

MARANHÃO, I. M., 2014. Estudo sobre a tecnologia heliotérmica e sua viabilidade no Brasil. Brasília: UNB.


MARTINS, D. C., 2000. Conversores estáticos de potência utilizados no processamento da energia solar fotovoltaica. Joinville: Conferência Internacional de Aplicações Industriais.

MERCK, 2015. Dye Sensitized Solar Cells. [Online] Disponível em: <http://www.merck-performance->






materials.com/en/solar\_and\_energy/photovoltaics/dssc/dssc.html [Acesso em 12 de novembro de 2015].




MERCK, 2015. Photovoltaic and Energy Applications. [Online] Disponível em: [http://www.merck-performance-materials.com/en/solar\\_and\\_energy/solar\\_and\\_energy.html](http://www.merck-performance-materials.com/en/solar_and_energy/solar_and_energy.html) [Acesso em 12 de novembro de 2015].

MERTEN, G. H. et al., 1995. El uso del SIG del modelo EUPS para determinar mapas de erosion potencial y actual em lasmicrucuencas pilotos de Água Grande y Córrego do Pensamento, Momborê, Paraná, Brasil. Santiago: Proeto Regional GCP/RLA/107/JPN.




MINAS GERAIS, Conselho Estadual de Política Ambiental, 2012. Deliberação Normativa COPAM nº 176 de 2012. Belo Horizonte: Diário do Executivo -Minas Gerais.

MINAS GERAIS, Conselho Estadual de Política Ambiental, 2015. Deliberação Normativa COPAM nº 202 de 2015. Belo Horizonte: Diário do Executivo - Minas Gerais.




MINAS GERAIS, Governo do Estado, 2013. Decreto Estadual Nº 46.296, de 14 de agosto de 2013 - Dispõe sobre o Programa Mineiro de Energia Renovável - Energias de Minas - e de medidas para incentivo à produção e uso de energia renovável, Belo Horizonte: Diário Oficial do Estado.

MINAS GERAIS, Governo do Estado, 2013. Lei Estadual Nº 20.849, de 8 de agosto de 2013 - Institui a política estadual de incentivo ao uso da energia solar, Belo Horizonte: s.n.




MINAS GERAIS, Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, 2015. Constituição (1989). Constituição do Estado de Minas Gerais. até a Emenda Const. 94/2015. Disponível em: <http://www.almg.gov.br/opencms/export/sites/default/consulte/legislacao/Downloads/pdfs/ConstituicaoEstadual.pdf> [Acesso em 27 de janeiro de 2016].



[MMA], Ministério do Meio Ambiente - Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2003. Fragmentação de Ecossistemas - causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendação de políticas públicas. Brasília: MMA/SBF.

[MMA], Ministério do Meio Ambiente – Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), 1990. Resolução CONAMA nº 003, de 28 de junho de 1990. s.l.:s.n.



[MMA], Ministério do Meio Ambiente – Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), 1986. Resolução CONAMA nº 001, de 17 de fevereiro de 1986. s.l.:s.n.



[MME], Ministério de Minas e Energia, 2003. Modelo Institucional do Setor Elétrico. s.l.:MME.

[MME], Ministério de Minas e Energia, 2006. Passivos ambientais na atividade minerária - Proposta de definição de passivo ambiental na mineração. Brasília: MME. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/port/conama/reuniao/dir934/ApresentacaoMME\\_PassivosAmbientais.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/reuniao/dir934/ApresentacaoMME_PassivosAmbientais.pdf) [Acesso em 29 de janeiro de 2016].

MORAES, M. B. d. S. A., 2002. A Energia do Sol. [Online] Disponível em: [http://www.if.ufrgs.br/mpef/mef008/mef008\\_02/Beatriz/](http://www.if.ufrgs.br/mpef/mef008/mef008_02/Beatriz/) [Acesso em 18 de maio de 2015].

MORA, N. D., LUCAS, J. F. R. & MARAN, M. A. , 2010. Materiais Elétricos: compêndio de trabalhos. Foz do Iguaçu: Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

MOREIRA, P. F., 2012. O Setor Elétrico Brasileiro e a Sustentabilidade no Século 21: Oportunidades e Desafios, Brasília: International Rivers Network.

MORTADA, V. , 2001. Notas sobre Geração Distribuída - Introdução, Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Eficiência Energética.

NASS, D. P., 2002. O Conceito de Poluição. Revista Eletrônica de Ciências, novembro.Issue Nº 13.

NEVES, E.; TOSTES, A., 1992. Meio Ambiente: Aplicando a Lei. Petrópolis: Vozes. Centro de Criação de Imagens Populares (CECIP).

[NREL], National Renewable Energy Laboratory, 2013. Solar Power And Chemical Energy Systems – SolarPACES. Disponível em:[http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/by\\_country.cfm](http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/by_country.cfm) [Acesso em 15 de junho de 2015].

NEVES, E., 2013. Obras de infraestrutura representam possibilidades e riscos ao patrimônio histórico, dizem arqueólogos: depoimento. Agência Brasil - Empresa de Comunicação - on line. Entrevista concedida a Flávia Villela, 14 setembro.

OLIVEIRA, E. M. de, 2006. Impacto Ambiental na Exploração de Pedreiras. Disponível em: [http://www.cprm.gov.br/publique/media/diss\\_elvis.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/diss_elvis.pdf) [Acesso em: 22 de janeiro de 2016].

OLIVEIRA, I. A., 2010. Impactos da Geração Distribuída em um alimentador real na presença de equipamentos de proteção, Fortaleza: Universidade Federal do Ceará.







OLIVEIRA, I. A. d., 2010. Impactos da geração distribuída em um alimentador real na presença de equipamentos de proteção. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará.

[ONUDI], Observatório de Energias Renováveis para a América latina e Caribe, 2014. Energia Solar Fotovoltaica. s.l.:Programa de Capacitação em Energias Renováveis.

PEREIRA, E. B., MARTINS, F. R., ABREU, S. L. D. & RÜTHER, R., 2006. Atlas Brasileiro de Energia. São José dos Campos: INPE.

[PET], Programa de Educação Tutorial de Engenharia de Telecomunicações, 2008. Tutorial de Célula Solar, Niterói: Universidade Federal Fluminense.

PIATTI, L. et al., 2012. Anurans of a disturbed area in Jarú, Rondônia, Brazil. [Online] Disponível em: <http://www.checklist.org.br/getpdf?SL049-11> [Acesso em 23 de abril de 2015].

PORTAL SOLAR. Tipos de painel solar fotovoltaico. 2015. Disponível em: <http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html> [Acesso em: 10 de novembro de 2015].

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, Secretaria do Verde e Meio Ambiente, 2007. Fauna Silvestre: Quem são e onde vivem os animais na metrópole paulista. São Paulo: Secretaria do Verde e do Meio Ambiente.

PY, X.; AZOUMAH, Y.; OLIVES, R., 2013. Concentrated solar power: Current technologies, major innovative issues and applicability to West African countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 18, p. 306–315.

REIS, D. d. C., UTURBEY, W., CARDOSO, S. N. & LOPES, B. M., 2014. Análise técnico-jurídica dos impactos ambientais presentes no processo de fabricação de painéis fotovoltaicos. 1º Congresso Brasileiro de Energia Solar, 03 04.

REIS, L. B. d., 2011. Matrizes energéticas: conceitos e usos em gestão e planejamento. Barueri: Manoele.

RESENDE, M. & ALMEIDA, J. R., 1985. Modelos de predição de perda de solo: uma ferramenta para manejo e conservação do solo. Belo Horizonte: Informe Agropecuário.

RODRIGUES, F. F. C., 2006. Programação da contratação de energia considerando geração distribuída no novo modelo do setor elétrico brasileiro, Rio de Janeiro: COPPE.



RÚJULA, A. B. et al., 2005. Definitions for Distributed Generation: a revision. Renewable Energy & Power Quality Journal.

SAATY, R. W., 1987. The analytic hierarchy process - what it is and how it is used. Math Modelling, Volume 9, p. 161–176.

SABESP, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, 2003. Guia de Recuperação de Áreas Degradadas. São Paulo: SABESP.

SANCHEZ, L. E., 2001. Desengenharia: o passivo ambiental na desativação de empreendimentos industriais. São Paulo: EdUSP.

SANTOS, F. A. C. M. d. & SANTOS, F. M. S. M. d., 2008. Geração distribuída versus centralizada. Millenium - Revista do ISPV, p. \_\_\_\_\_.

SANTOS, F. A. C. M. d. & SANTOS, F. M. S. M. d., 2008. Geração distribuída versus centralizada. Millenium - Revista do Instituto Politécnico de Viseu, Novembro. Issue 35.

SANTOS, F. F. d., 2011. Utilização de Energia Fotovoltaica para a eficiência energética de uma moradia, Porto: FEUP.

SANTOS, S. R., 2011. Segurança e confiabilidade em sistemas fotovoltaicos. [Online] Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/component/content/article/57-artigos-e-materias/757-seguranca-e-confiabilidade-em-sistemas-fotovoltaicos.html> [Acesso em 19 de março de 2015].

SÃO PAULO, Secretaria do Meio Ambiente, 2005. Teoria e Prática em Recuperação de Áreas Degradadas: Plantando a semente de um mundo melhor. São Paulo: FEHIDRO.

SARK, W. V., MEIJERINK, A. & SCHROPP, R., 2012. Solar Spectrum Conversion for Photovoltaics Using Nanoparticles. In: V. FTHENAKIS, ed. Third Generation Photovoltaics. s.l.:InTech.


SAUER, I. L., 2002. Um novo modelo para o setor elétrico brasileiro, São Paulo: USP - Universidade de São Paulo.

SAUER, O., 1998. A morfologia da paisagem. In: CORRÊA; ROZENDAHL (Orgs.). Paisagem tempo e cultura. Rio de Janeiro: EdUERJ.

SCOLFORO, J. R. S. O. A. D. d. C. L. M. T. d., 2008. Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais: zoneamento e cenários exploratórios. Lavras: UFLA.

SEDIGAS, A. E. d. G., 2013. Guía sobre aplicaciones de la energía solar térmica. Barcelona: s.n.





[SEMAD], Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 2014. SIAM - Sistema Integrado de Informação Ambiental. [Online] Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/siam/> [Acesso em 15 de novembro de 2014].

SEVERINO, M. M., 2008. Avaliação técnico-econômica de um sistema híbrido de geração distribuída Para atendimento a comunidades Isoladas da Amazônia, Brasília: s.n.


SHAEFER, H. & HAGERDON, G., 1991. Hidden energy and correlated environmental characteristics of PV generation. *Renewable Energy*, 2(2), pp. 159-166.



SHAFER, 1990. *Nature Reserves: Island Theory and Conservation Practice*. Washington: Smithsonian Institution Press.

SIAS, D. B., 2015. Coletor Solar. [Online] Disponível em: <http://penta3.ufrgs.br/CESTA/fisica/calor/coletorsolar.html> [Acesso em 26 de novembro de 2015].


SICES, SICES Brasil Ltda, 2015. Tabela de Preço outubro-2015, Itapevi: SICES.



SIEMENS, s.d. Formas não-convencionais de geração e uso racional de energia. s.l.:s.n.

SILVA, L. M. L. d., 2014. Análise multicritério espacial aplicada à prospecção de fontes renováveis de Energia, Belo Horizonte: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

SILVA, R.B.T. Geração de energia elétrica a partir da concentração solar. Dissertação (Graduação em Engenharia Mecânica). s.l. : Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista., 2011. p. 47



SILVA, R. M. d., 2015. Energia solar no Brasil: dos incentivos aos desafios. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado.

SILVEIRA, H., 2003. Otimização do módulo fotovoltaico concentrador estático plano modificado. Porto Alegre: PUC-RS.

SILVEIRA, L. F. & UEZU, A., 2011. Checklist das aves do Estado de São Paulo, Brasil. [Online] Disponível em: [http://www.ib.usp.br/~lfsilveira/pdf/a\\_2011\\_avessp.pdf](http://www.ib.usp.br/~lfsilveira/pdf/a_2011_avessp.pdf) [Acesso em 23 de abril de 2015].





SOLAR, P., 2015. Tipos de painel solar fotovoltaico. [Online] Disponível em: <http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html> [Acesso em 10 de novembro de 2015].

SOLETROL. Aquecedores solares de água. Disponível em: [http://www.soletrol.com.br/mobile/produtos/comp\\_special/index.xhtml](http://www.soletrol.com.br/mobile/produtos/comp_special/index.xhtml) [Acesso em 05 de novembro de 2015].

[SPE], Solar Power Europe, 2014. Global Market Outlook for Solar Power 2015-2019. Bruxelas: SPE.

TANSLEY, A., 1935. The use and abuse of vegetational concepts and terms. [Online] Disponível em: <http://links.jstor.org/sici?sici=0012-9658%28193507%2916%3A3%3C284%3ATUAAOV%3E2.0.CO%3B2-P> [Acesso em 23 de abril de 2015].

TIRADENTES, Á. A. R., 2006. Uso da Energia solar para geração de eletricidade e para aquecimento de água. Lavras: UFLA.

TOLEDO, F. , 2012. Desvendando as Redes Elétricas Inteligentes. Rio de Janeiro: Brasport.

TURNER, R. & DAILY, G., 2007. The Ecosystem Services Framework and Natural Capital Conservation. [Online] Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10640-007-9176-6#page-1> [Acesso em 24 de abril de 2015].

TURNEY, D. & FTHENAKIS, V., 2011. Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants. Journal Elsevier, agosto, Volume 15, p. 3261–3270.

VAN ROOY, P. T. J. C. & STUMPEL, A. H. P., 1995. Ecological impact of economic development on sardinian herpetofauna. Journal Conservation Biology, 9(nº 2).

VARGAS, P. R., 2005. Artigos Jurídicos. [Online] Disponível em: <http://www.advogado.adv.br/artigos/2005/pabloricardovargas/prevencao.htm> [Acesso em 19 de março de 2015].

VASCONCELOS, Y., 2013. O desafio do Sol. Pesquisa FAPESP, Issue 207.

WILLIS, H. L. & SCOTT, W. G., 2000. Distributed power generation: planning and evaluation. New York: Marcel Dekker.

WILSON, R. & YOUNG, A., 1996. Embodied energy payback period of photovoltaic installations applied to buildings in the UK. Building and Environment, pp. 299-305.







ZAHER, H. et al., 2011. Artigo: Répteis do Estado de São Paulo: conhecimento atual e perspectivas. [Online] Disponível em: <http://www.biotaneotropica.org.br/v11n1a/pt/fullpaper?bn0051101a2011+pt> [Acesso em 23 de abril de 2015].

ZILLES, R., MACÊDO, W. N., GALHARDO, M. A. B. & OLIVEIRA, S. H., 2012. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. São Paulo: Oficina de Textos.







Fotos: Evandro Rodney / br.freepik.com

**feam**  
FUNDAÇÃO ESTADUAL  
DO MEIO AMBIENTE

 **MINAS  
GERAIS**  
GOVERNO DE TODOS



**P&D/feam**