

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
ELÉTRICA

DARTISSON DE CASTRO REIS

ANÁLISE CRÍTICA DO PROCESSO DE LICENCIAMENTO
AMBIENTAL DE USINAS FOTOVOLTAICAS

Belo Horizonte

2015

DARTISSON DE CASTRO REIS

**ANÁLISE CRÍTICA DO PROCESSO DE LICENCIAMENTO
AMBIENTAL DE USINAS FOTOVOLTAICAS**

Dissertação de mestrado apresentado ao
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Elétrica da Escola de Engenharia da
Universidade Federal de Minas Gerais.

Orientador: Prof. Wadaed Uturbey da Costa

Belo Horizonte

2015

R375a

Reis, Dartisson de Castro.

Análise crítica do processo de licenciamento ambiental de usinas fotovoltaicas [recurso eletrônico] / Dartisson de Castro Reis. - 2015.
1 recurso online (151 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Wadaed Uturbey da Costa.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais,
Escola de Engenharia.

Bibliografia: f. 140-151.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Engenharia elétrica - Teses. 2. Geração de energia fotovoltaica - Teses. 3. Impacto ambiental - Teses. 4. Licenciamento ambiental - Teses.
I. Costa, Wadaed Uturbey da. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 621.3(043)

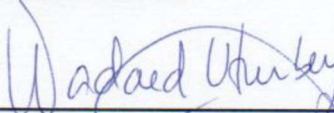
"Análise Crítica do Processo de Licenciamento Ambiental de Usinas Fotovoltaicas"

Dartisson de Castro Reis

Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 09 de junho de 2015.

Por:



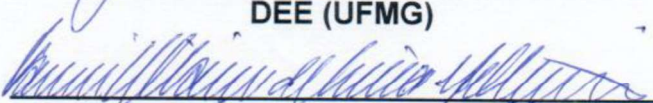
Profa. Dra. Wadaed Uturbey da Costa
DEE (UFMG)



Profa. Dra. Maraluce Maria Custódio
Escola Superior Dom Helder Câmara



Prof. Dr. José Osvaldo Saldanha Paulino
DEE (UFMG)



Prof. Dr. Davies William de Lima Monteiro
DEE (UFMG)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado saúde, força e tranquilidade para superar as dificuldades.

Aos meus pais, pilares da minha formação, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

A minha orientadora, Dra. Wadaed Uturbey da Costa, que com sabedoria soube dirigir os meus passos e os pensamentos para o alcance de meus objetivos.

A minha namorada Tamara, amor sincero e verdadeiro, que com muito carinho, está ao meu lado em todos os momentos me ajudando e me tornando uma pessoa melhor.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação.

RESUMO

No cenário de crescimento da demanda por energia e a preocupação com o meio ambiente surgiu a necessidade de se desenvolver as tecnologias de geração alternativa. Neste ambiente, a geração fotovoltaica apareceu como uma boa opção, devido ao fato de possuir uma grande disponibilidade de insumo para a geração, que é o sol e de ser vista com um baixo potencial poluidor. No entanto, no seu processo produtivo e na implantação das usinas existem impactos ambientais significativos. Dessa forma, o processo de licenciamento ambiental deve ser estruturado e controlado para alcançar resultados efetivos. Este trabalho objetiva apresentar a situação da tecnologia de geração fotovoltaica e o licenciamento ambiental. É mostrado o processo de produção dos painéis fotovoltaicos das tecnologias mais comerciais à base de silício (policristalina; monocristalina; e filme fino de silício amorfo), além de uma tecnologia promissora (*HIT SmartSilicon*). Os impactos ambientais das etapas de produção dos painéis e da montagem das usinas geradoras são apresentados. Posteriormente, o direito brasileiro é caracterizado, abordando inclusive o de Minas Gerais. É feita uma relação entre a normatização e os impactos para a caracterização do processo de controle ambiental. São descritos os processos de licenciamento ambiental no Brasil e em Minas Gerais, abordando o processo produtivo dos painéis fotovoltaicos e a instalação das usinas. São tratados os controles ambientais da Alemanha e dos Estados Unidos, como forma de comparação. É feita uma análise comparativa do Ciclo de Vida (LCA) do processo produtivo das células monocristalina, policristalina, *HIT SmartSilicon* e Silício amorfo, enfatizando a importância de diferenciar a tecnologia no estudo de impactos ambientais. São também identificados os problemas na estrutura e organização do sistema ambiental, sugerindo as possíveis soluções, no âmbito mais amplo do sistema de controle ambiental, e especificamente para a geração fotovoltaica, destacando a necessidade de se conhecer melhor a tecnologia e seus impactos ambientais e principalmente considerar a tecnologia empregada pautada no LCA.

Palavras chaves

Geração fotovoltaica, impactos ambientais, licenciamento ambiental, análise de ciclo de vida, legislação ambiental.

ABSTRACT

On the scenario of growing energy demand and environmental concern, the need to develop alternative generation technologies has emerged. In this context, photovoltaic generation emerged as a good option due to the fact that there is large availability of raw material for generation, which is the sun, and is seen as a low pollution source. Therefore, the environmental licensing process should be structured and controlled to achieve effective results. This study aims to present the situation of photovoltaic generation technology and the environmental licensing. The production process of photovoltaic panels of the commercial technologies based on silicon (polycrystalline, monocrystalline, amorphous silicon, thin film), plus a promising technology (HIT SmartSilicon) are shown. The environmental impacts of the production steps of the panels and the installation of power plants are presented. Later, Brazilian environment laws are characterized, also featuring Minas Gerais law. A relationship between the regulation and the impact to the characterization of environmental control process is made. The Brazilian environmental licensing processes are described, covering the production process of photovoltaic panels and the installation of the plants. Environmental controls from Germany and the United States are presented, as a means of comparison. A comparative analysis of monocrystalline, polycrystalline, HIT SmartSilicon and amorphous silicon cells Life Cycle (LCA) of the production process is made, emphasizing the importance of differentiating the technologies in the environmental impacts study. Structure and organization problems of the licensing system are also identified. Possible solutions in the broader context of environmental control system, and specifically for the photovoltaic generation, are suggested. It is highlighted that better understanding of technologic characteristics and their environmental impacts is needed in order to achieve a fair environmental licensing process. Moreover, it is stated that LCA studies should give the basis for environmental licensing.

Keywords

Photovoltaic generation, environmental impacts, environmental licensing, life cycle analysis, environmental legislation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Visão geral do funcionamento de uma célula fotovoltaica	20
Figura 2	Diagrama do fluxo produtivo das células fotovoltaicas	23
Figura 3	Comparação processos produtivos	25
Figura 4	Processo produtivo das células de silício policristalino	26
Figura 5	Detalhe de produção da célula fotovoltaica baseada em silício policristalino	28
Figura 6	Caracterização do processo de produção da célula monocristalina	29
Figura 7	Esquemático do cadinho usado no processo Czochralski	30
Figura 8	Configuração esquemática para a Zona processo - Float (FZ)	32
Figura 9	Caracterização da célula de silício amorfo	33
Figura 10	Representação esquemática da estrutura do (a) Silício Monocristalino (b) Silício Amorfo Hidrogenado	34
Figura 11	Deposição Química na Fase Vapor Assistido por Plasma PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition)	35
Figura 12	Conção em camadas da célula HIT SmartSilicon, com as espessuras máximas.	38
Figura 13	Visão global do processo de fabricação das células HIT SmartSilicon	40
Figura 14	Diagrama do ciclo de vida do sistema fotovoltaico, incluindo entrada de energia e material e efluentes	42
Figura 15	Detalhe do processo de serragem da barra de silício	48
Figura 16	Primeira etapa do processo de polimento da célula fotovoltaica	48
Figura 17	Segunda etapa do processo de polimento da célula fotovoltaica	49
Figura 18	Conteúdo Mínimo EIA	73
Figura 19	Conteúdo Mínimo RIMA	74
Figura 20	Fluxo do Licenciamento Ambiental no Brasil	77
Figura 21	Conteúdo mínimo do RAS	79
Figura 22	Procedimento para o licenciamento em Minas Gerais	86
Figura 23	Estrutura geral do método LCIA ReCiPe	104
Figura 24	Impactos considerado na metodologia ReCiPe	106
Figura 25	Itens mais relevantes considerados na comparação	107
Figura 26	Gráfico comparativo Mudança Climática / m2 – ReCiPe –	108

	Impactos	
Figura 27	Gráfico comparativo Ecotoxicidade da Água limpa / m2 – ReCiPe – Impactos	108
Figura 28	Gráfico comparativo Eutrofização da Água limpa / m2 – ReCiPe – Impactos	109
Figura 29	Gráfico comparativo Toxicidade Humana / m2 – ReCiPe – Impactos	109
Figura 30	Gráfico comparativo Ecotoxicidade Marinha / m2 – ReCiPe – Impactos	109
Figura 31	Gráfico comparativo Eutrofização Marinha / m2 – ReCiPe – Impactos	110
Figura 32	Gráfico comparativo Formação de Material Particulado / m2 – ReCiPe – Impactos	110
Figura 33	Gráfico comparativo Formação de Oxidante Fotoquímico / m2 – ReCiPe – Impactos	110
Figura 34	Gráfico comparativo Acidificação Terrestre / m2 – ReCiPe – Impactos	111
Figura 35	Gráfico comparativo Ecotoxicidade Terrestre / m2 – ReCiPe – Impactos	111
Figura 36	Gráfico comparativo Ocupação de Terra Urbana / m2 – ReCiPe – Impactos	111
Figura 37	Gráfico comparativo Depleção da Água / m2 – ReCiPe – Impactos	112
Figura 38	Gráfico comparativo das tecnologias a-Si, poli-Si, mono-Si e HIT SmartSilicon dos impactos ambientais, utilizando a metodologia ReCiPe – EndPoint	113
Figura 39	Energia total demanda nos processos de fabricação das células	113
Figura 40	Opinião dos analistas da DILIC sobre os padrões, regras, manuais e procedimentos do licenciamento ambiental para orientar o analista e o empreendedor	118
Figura 41	Opinião dos analistas pesquisados sobre o programa de capacitação da DILIC	122
Figura 42	O licenciamento ambiental leva em conta a vocação/potencial econômico do Estado ou região?	125
Figura 43	Opinião dos analistas da DILIC sobre mecanismos de	127

acompanhamento dos impactos ambientais

Figura 44	As consultas a outros órgãos interessados vinculam a decisão do órgão licenciador?	128
Figura 45	Principais problemas enfrentados no processo de licenciamento no Brasil	129

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Eficiência típica dos módulos fotovoltaicos comerciais	21
Tabela 2	Prazos das licenças ambientais	75
Tabela 3	Classificação dos empreendimentos	83
Tabela 4	Potencial poluidor	83
Tabela 5	Unidades das ordenadas das figuras 26 a 37	108

LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS

AFF	Autorização Ambiental de Funcionamento
ARC	Anti-reflection Coating
AsH ₃	gás tóxico de arsina
a-Si	Silício amorfo
a-Si:H	Silício Amorfo Hidrogenado
B ₂ H ₆	Diborano
BBr ₃	Brometo de boro
BCl ₃	Tricloreto de boro
BOS	(Balance of System) Sistema que converte DC para AC
C ₂ H ₃ Cl ₃	Tricloroetano
C ₃ H ₆ O	Acetona
C ₃ H ₈ O	Alcool isopropílico
C ₄ H ₈ O ₂	Acetato de etilo
CdTe	Telureto de Cádmio
CEQ	Council on Environmental Quality
CERH	Conselho estadual Recursos Hídricos
CF	Constituição Federal
CIGS	Disseleneto de Cobre-Índio-Gálio
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CO	Monóxido de Carbono
CONAMA	O Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM	Conselho estadual de Política Ambiental
COSEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente
Cu(In,Ga)Se ₂	Dissulfeto de Cobre e Índio
CVD	Chemical vapor deposition
CZ	Czochralski
DILIC	Diretoria de Licenciamento Ambiental
DN	Deliberação Normativa
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EPA	Agencia de Proteção Ambiental
EPE	Empresa de Pesquisa Energética

EPIA	European Photovoltaic Industry Association
FBR	Fluidized Bed Reactor
FCE	Formulário de Caracterização do Empreendimento
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FEP	Eutrofização da Água Limpa
FETPinf	Ecotoxicidade da Água Limpa
FOB	Formulário de Orientação Básica
FV	Fotovoltaico
FZ	Float Zone
GaAs	Arseneto de Gálio
GAMA	Gerência Adjunta do Meio Ambiente
GD	Glow Discharge
GWP500	Mudança Climática
H ₂	Hidrogênio
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrogênio
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
HCl	ácido clorídrico
HF	Ácido fluorídrico
HIT	Heterojunction with intrinsic Thin Layer
HNO ₃	Ácido nítrico
HTPinf	Toxicidade Humana
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IEF	Instituto Estadual de Florestas
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ITO	Indium tin oxide
LCA	Life Cycle Assessment
LCI	Life Cycle Inventory
LCIA	Life cycle impact assessment)
LI	Licença de instalação
LO	Licença de operação
LP	Licença prévia
MEP	Eutrofização Marinha

METPinf	Ecotoxicidade Marinha
MG-Si	Silício Metalúrgico
MMA	Ministério do Meio Ambiente
mono-Si	Silício Monocristalino
NEPA	National Environmental Policy Act
NH ₃	Amônia
NH ₄ F	Fluoreto de amônio
OEMAs	Órgãos Estaduais de Meio Ambiente
OMMAs	Órgãos Municipais de Meio Ambiente
OPV	Organic Photovoltaics
PCA	Plano de Controle Ambiental
PCA	Plano de Controle Ambiental
PCA	Plano de Controle Ambiental
PCl ₃	Tricloreto de fósforo
PECVD	Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition
PH ₃	Fosfina
PMFP	Formação de Material Particulado
POCl ₃	Oxicloreto de fósforo
POCl ₃	Oxicloreto de fósforo
POFI	Formação de Oxidante Fotoquímico
poli-Si	silício policristalino
PV	Painél Fotovoltaico
RADA	Relatório de Avaliação de Desempenho Ambiental do Sistema de Controle e demais Medidas Mitigadoras
RAS	Relatório Ambiental Simplificado
RCA	Relatório de Controle Ambiental
RIMA	Relatório de Impacto ao Meio Ambiente
RN	Resolução Normativa
SEMAD	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SF ₆	Hexafluoreto de enxofre
SiCl ₄	Tetraclorosilano
SiH ₄	Silano

SiHCl ₃	Triclorossilano
SiO ₂	Dióxido de silício
SiO ₃	Trióxido de silício
SISEMA	Sistema Estadual do Meio Ambiente
SISLIC	Sistema de Licenciamento Ambiental Federal
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiental
SnCl ₂	Cloreto de estanho
SnO ₂	óxido de estanho
SO ₂	Dióxido de enxofre
SUPRAMS	Superintendências Regionais de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SVTC	Silicon Valley Toxics Coalition
Ta ₂ O ₅	Pentóxido de tântalo
TAP	Acidificação Terrestre
TCO	Transparent Conductive Oxide
TCU	Tribunal de Contas da União
TETO	Ecotoxicidade Terrestre
TiO ₂	Dióxido de titânio
ULOP	Ocupação de Terra Urbana
URCs	Unidades Regionais Colegiadas
USEPA	United States Environmental Protection Agency
WDP	Depleção da Água

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. Objetivos Geral e Específico	19
1.2. Estrutura da dissertação	19
2. AS TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS E SEUS PROCESSOS PRODUTIVOS	21
2.1. Células de Silício Policristalino	27
2.2. Células de Silício Monocristalino	29
2.2.1. Método Czochralski	30
2.2.2. Método Float Zone (FZ)	32
2.3. Célula de Silício Amorfo	33
2.4. HIT Metalúrgico	38
2.5. Considerações Finais do Capítulo	41
3. IMPACTOS AMBIENTAIS	43
3.1. Impactos na Extração do Silício	44
3.2. Impactos na Metalurgia do Silício	46
3.3. Impactos na Purificação do Silício	47
3.4. Impactos na Montagem dos Módulos e Painéis Fotovoltaicos	49
3.5. Impactos na Implantação das Usinas	51
3.6. Impactos no Descomissionamento	52
3.7. Impactos no Meio Social e Econômico	52
3.8. Considerações Finais do Capítulo	54
4. ARCABOUÇO JURÍDICO	55
4.1. Direito Brasileiro	55
4.2. Hierarquia Normativa	56
4.3. O Direito Ambiental	57
4.3.1. O direito ambiental no Brasil	57
4.3.2. Legislação e organização ambiental no âmbito estadual	62

4.3.3. Legislação ambiental no âmbito municipal	65
4.4. Considerações Finais do Capítulo	66
5. LICENCIAMENTO AMBIENTAL – RELAÇÃO IMPACTO / LEGISLAÇÃO	67
5.1. Licenciamento no Brasil	67
5.2. Licenciamento em Minas Gerais.....	82
5.3. Procedimento para Licenciamento da Fabricação do Painel Fotovoltaico	89
5.4. Processo Licenciamento da Instalação e Operação das Usinas Fotovoltaicas ..	91
5.5. Apresentação do Processo de Licenciamento EUA e Alemanha.....	93
5.5.1. Alemanha.....	93
5.5.2. Estados Unidos.....	97
5.6. Considerações Finais do Capítulo	99
6. COMPARAÇÃO TECNOLÓGICA DOS TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS – UMA VISÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS	100
6.1. Metodologia	100
6.2. Resultados	105
6.3. Conclusões do Capítulo	115
7. PROBLEMAS ENFRENTADOS NO LICENCIAMENTO AMBIENTAL E PROPOSTAS PARA MELHORIA.....	117
7.1. Dificuldades do Licenciamento no Brasil.....	117
7.1.1. Ausência normativa	117
7.1.2. Conflito de competências.....	118
7.1.3. Deficiência de conhecimento técnico científico.....	120
7.1.4. Falta transparência	123
7.1.5. Falta planejamento integrado	124
7.1.6. Não há acompanhamento efetivo posterior ao licenciamento	125
7.1.7. Consulta a diversos órgãos	127
7.2. Possíveis Soluções para os Problemas.....	129
7.2.1. Regulamentação dos princípios do direito ambiental	129

7.2.2. Institucionalização do conhecimento	131
7.2.3. Resgatar os objetivos da proteção ambiental	132
7.3. Propostas para o Licenciamento na Cadeia Fotovoltaica	133
7.4. Considerações Finais do Capítulo	136
8. CONCLUSÃO	138
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	140

1. INTRODUÇÃO

O aumento da demanda de energia e a preocupação com impactos ambientais têm levado ao desenvolvimento de fontes alternativas de geração de energia em todo o mundo. Uma fonte considerada limpa, renovável e em abundância que pode atender a essa necessidade é o sol. A energia solar é a principal fonte primária disponível em nosso planeta. Para o Brasil a geração de energia elétrica através de fontes fotovoltaicas pode se tornar um investimento muito promissor, pois em função da sua localização geográfica, apresenta uma fonte inesgotável do principal insumo, o sol. Além disso, também dispõe da matéria prima essencial para produção do silício utilizado na fabricação das células fotovoltaicas. O Brasil é um dos principais produtores de silício de grau metalúrgico do mundo, com capacidade de produção de aproximadamente 200 mil t/ano, (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2015).

Um fato que pode balizar ainda mais o interesse nessa tecnologia é o volume disponível de energia advinda da radiação solar. A atmosfera terrestre recebe a cada ano $1,52 \times 10^{18}$ kWh de energia. Essa quantidade é superior a demanda de energia primária anual do mundo, que é $1,40 \times 10^{14}$ kWh, (BP, 2011). Ou seja, se conseguisse aproveitar apenas 0,01% da radiação solar conseguiria atender a toda a necessidade energética do mundo.

No entanto, apesar de ser avaliada como uma fonte limpa, deve-se analisar com mais profundidade todo o processo e ciclo de vida da tecnologia para se ter um melhor entendimento. Ela apresenta no seu ciclo de fabricação e funcionamento etapas que necessitam de uma maior atenção em função dos impactos ambientais. Os processos de extração, beneficiamento e purificação do silício apresentam efeitos nocivos ao ambiente e devem ser considerados quando da análise da geração de energia através dos painéis fotovoltaicos.

O processo de fabricação dos painéis fotovoltaicos se assemelha muito ao processo produtivo da indústria eletrônica. As duas tecnologias se baseiam na utilização do silício como matéria prima, objetivando a fabricação de semicondutores com um grau de pureza elevado do silício. Dessa forma muitos dos impactos e riscos presentes na indústria eletrônica estão presentes na fabricação dos componentes fotovoltaicos. Dessa forma, um paralelo do início do desenvolvimento da indústria eletrônica se faz necessário, principalmente no caso americano, pois essa indústria

apresentou graves problemas no que diz respeito aos impactos ambientais e na saúde da população vizinha aos empreendimentos, (CHEPESIUK, 1999). Na região do Vale do Silício, em 1982 foi descoberta uma grande contaminação dos lençóis freáticos perto das instalações de produção de eletrônicos de alta tecnologia, tais como IBM e Fairchild Electronics. Produtos químicos tóxicos estavam vazando de tanques de armazenamento subterrâneos. Mais de 100.000 casas em San Jose foram expostas a solventes tóxicos. Além disso, os trabalhadores nas instalações também estavam sendo expostos a produtos químicos perigosos no trabalho. Como consequência, centenas de pessoas dentro e fora das fábricas começaram a desenvolver câncer, problemas reprodutivos, e outras doenças, (MULVANEY, *et al.*, 2009). Além deste caso, vários outros ocorreram em função da indústria eletrônica, outro também emblemático é o de Nova York, que gerou processo judicial de saúde ambiental de grande repercussão, com famílias pedindo reparação por danos sofridos na saúde deles, tais como câncer e abortos espontâneos, em função da exposição a produtos químicos perigosos no trabalho (CHEPESIUK, 1999).

Estatísticas publicadas em Abril de 1999 pelo *U.S. Department of Labor's Bureau of Labor Statistics* mostram que os trabalhadores da indústria tinham uma taxa de doenças ocupacionais duas vezes maior do que os trabalhadores em outros setores industriais, (CHEPESIUK, 1999). Esses dados reforçam a necessidade de se aprofundar na análise de todo o ciclo de vida da tecnologia de geração fotovoltaica, em caso de investimento na produção dos painéis fotovoltaicos no Brasil, para que não ocorram os mesmos erros cometidos pela indústria eletrônica nos Estados Unidos.

No Brasil, atualmente não existe um grande desenvolvimento na purificação de silício até o grau solar em nível comercial, a maior parte da produção se concentra no silício em grau metalúrgico, (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2015). O processo de desenvolvimento da tecnologia no país se encontra em fase muito inicial, se concentrando nas pesquisas em laboratórios. Os detalhes das atividades presentes no processo produtivo do módulo fotovoltaico são pouco conhecidos e dessa maneira os impactos ambientais advindos da cadeia produtiva são pouco estudados.

A inserção de uma nova tecnologia na matriz elétrica brasileira exige uma cuidadosa avaliação do seu impacto no longo prazo, que considere as especificidades do setor elétrico nacional. Analisar a viabilidade passa por pensar nas questões do licenciamento ambiental e dispor de uma metodologia que oriente, direcione e agilize neste processo. Essa ponderação é de extrema importância para se conseguir desenvolver e implementar a tecnologia, impulsionando o país para se tornar referência do setor. O licenciamento ambiental deve ser visto como uma ferramenta para avaliar e mitigar os inevitáveis impactos ambientais gerados pela colocação de mais essa tecnologia na matriz energética do país. Qualquer fonte de geração de energia elétrica produz impactos sobre o meio ambiente e sobre a sociedade. O que deve ser procurado é viabilização dos processos e técnicas para que haja vantagem socioambiental deste empreendimento.

O licenciamento ambiental no Brasil ainda é um assunto muito controverso, palco de conflitos, uma vez que o assunto encontra-se em fase de maturação. De uma forma geral, existem problemas estruturais, de organização e fiscalização, que precisam maiores estudos e soluções mais efetivas, (SECRETARIA DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2009; VULCANIS, 2010).

Com relação à geração fotovoltaica é ainda mais confuso, pois é uma tecnologia nova e com seu processo de fabricação pouco conhecida no país. Dessa forma será objeto de opiniões, críticas, desacordos e conflitos entre órgãos reguladores e competências. Será necessário muito esforço para que haja um rearranjo institucional, uma correção das deficiências, na capacitação técnica, no melhoramento contínuo e na persistente busca do desenvolvimento socioambiental equiparado ao desenvolvimento econômico.

Dessa maneira, é de suma importância que sejam realizados estudos de todo o ciclo de vida da geração fotovoltaica no Brasil, tendo como foco de análise o licenciamento ambiental. A efetivação e o desenvolvimento do país como uma referência na tecnologia dependem da transposição das barreiras burocráticas e da sistematização de uma metodologia que facilite a adequação dos procedimentos. É necessário desenvolver possíveis modelos de licenciamento ambiental para este tipo de fonte de energia renovável, permitindo a realização de análises mais precisas sobre a viabilidade da tecnologia em questão. O conhecimento da legislação e das

metodologias utilizadas para o licenciamento em outros países também é muito interessante para que seja possível um paralelo e a identificação de boas práticas.

1.1. Objetivos Geral e Específico

O objetivo geral deste trabalho é fazer uma análise crítica do processo de licenciamento da geração de energia através da tecnologia fotovoltaica.

O trabalho possui diversos objetivos específicos, iniciando pela descrição de todo o processo de fabricação dos módulos fotovoltaicos, apresentando os impactos ambientais de cada uma das etapas, inclusive da instalação dos painéis e do descomissionamento. Após o entendimento da tecnologia e os seus impactos, objetiva-se mostrar o complexo normativo que regula as questões ambientais, localizando-o dentro do complexo normativo brasileiro. Com toda a situação apresentada deseja-se mostrar a relação do complexo normativo com os impactos da fabricação, instalação e funcionamento da geração fotovoltaica, ou seja, o licenciamento ambiental. Deseja-se mostrar também como é feito o licenciamento ambiental em outros países, para amparar sugestões de melhoria do utilizado no Brasil. Para aprofundar na discussão, objetiva-se comparar 4 tecnologias de produção das células fotovoltaicas do ponto de vista dos impactos ambientais, analisando cada uma no seu ciclo de vida. Outro objetivo deste trabalho é reunir os principais problemas encontrados no licenciamento ambiental no Brasil, apresentando possíveis soluções para diminuir ou mesmo acabar com os problemas relatados.

1.2. Estrutura da dissertação

O capítulo 2 apresenta as tecnologias fotovoltaicas, focando naquelas a base de silício. É mostrado o ciclo produtivo das células de silício monocristalino, policristalino, amorfo e HIT a base de silício metalúrgico e silício amorfo. No capítulo 3 são apresentados os impactos ambientais envolvidos em cada etapa de produção das células fotovoltaicas partindo desde a extração até o módulo pronto. São descritos os impactos também na montagem das usinas geradoras e no descomissionamento. Por último, são mostrados os impactos no meio social e econômico. No capítulo 4 o arcabouço jurídico brasileiro é caracterizado, definindo a

hierarquia e as competências. O direito ambiental é localizado dentro do complexo normativo nos três graus da federação. O capítulo 5 versa sobre o licenciamento ambiental de uma forma ampla. Primeiramente é mostrado tendo como foco a estrutura do processo de licenciamento, abordando a regulação e os órgãos no âmbito federal e do estado de Minas Gerais. Depois é relatado o licenciamento focado no processo produtivo, instalação e operação dos sistemas fotovoltaicos. Por último são apresentados os processos de licenciamento nos Estados Unidos e Alemanha, como forma de comparação. No capítulo 6 é feita uma comparação do ciclo de vida das tecnologias apresentadas no capítulo 2, comparando os impactos ambientais e o gasto energético em todo processo produtivo. O capítulo 7 reúne os principais problemas e dificuldades encontradas no processo de licenciamento ambiental no Brasil. Para os problemas e dificuldades são propostas soluções para minimizá-los, ou mesmo, resolve-los. Além disso, são apresentadas sugestões para o licenciamento da tecnologia fotovoltaica.

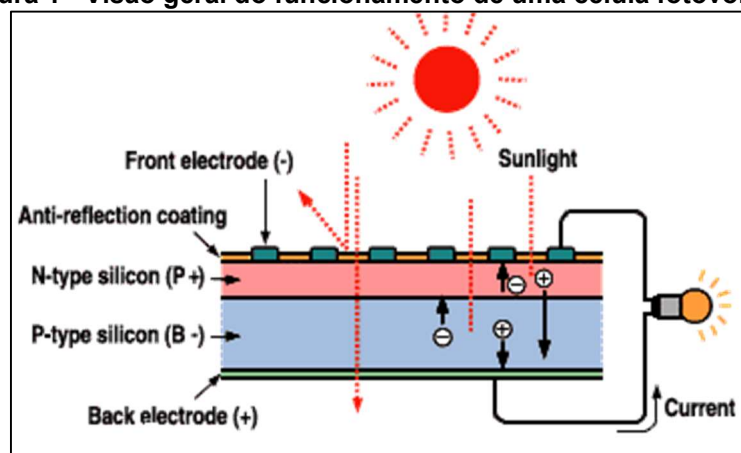
2. AS TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS E SEUS PROCESSOS PRODUTIVOS

As tecnologias fotovoltaicas são sistemas que convertem energia direta do sol em eletricidade e são as células fotovoltaicas os elementos responsáveis por essa conversão, pois é nela que o efeito fotovoltaico acontece.

As células fotovoltaicas são compostas pela combinação de duas ou mais camadas de materiais semicondutores com suas propriedades modificadas para que seja possível a criação de uma junção entre as camadas (junção P-N) com propriedades para se criar um campo elétrico. Os materiais semicondutores são modificados através da adição de materiais chamados de dopantes. Os materiais mais utilizados como dopante são o fósforo ou arsênio (pentavalentes) ou o boro, gálio ou índio (trivalentes).

Quando as células fotovoltaicas são atingidas pela radiação solar, contendo fótons, geram-se pares de portadores de carga (elétrons e lacunas) excitados e alguns desses atravessam a junção P-N em função do campo elétrico gerado nessa área. Estes são encaminhados para os contatos presentes na face das células, gerando a corrente elétrica. Quando esses contatos estão ligados a um circuito ou uma carga irão alimentar o sistema. Na Figura 1 pode-se verificar a configuração geral da célula fotovoltaica, (HAMILTON, 2011).

Figura 1 - Visão geral do funcionamento de uma célula fotovoltaica



Fonte – HAMILTON, 2011

A potência gerada será proporcional principalmente à quantidade de luz solar que alcança as células, à temperatura e à eficiência da conversão de cada módulo fotovoltaico, que depende do tipo de tecnologia envolvida na fabricação. Os tipos de células fotovoltaicas são variados, dependendo do material e do arranjo das

camadas depositadas. As células disponíveis comercialmente apresentam eficiência de conversão conforme tabela abaixo:

Tabela 1 - Eficiência típica dos módulos fotovoltaicos comerciais

Tecnologia	Eficiência	Área/kW _p
Silício Cristalino		
Monocristalino	13 a 19%	~7m ²
Policristalino	11 a 15%	~8m ²
Filmes Finos		
Silício amorfo (a-Si)	4 a 8%	~15m ²
Telureto de Cádmio (Cd-Te)	10 a 11%	~10m ²
Disseleneto de Cobre-Índio-Gálio (CIGS)	7 a 12%	~10m ²
Concentrador Fotovoltaico	~25%	

Fonte: EPIA, 2011

As células fotovoltaicas são manufaturadas com base em diversos tipos de matéria prima, dependendo da tecnologia, como o silício, o cádmio, telúrio, cobre, disseleneto de índio entre outros. Os mais utilizados atualmente são apresentados a seguir, numa divisão de três grupos, conforme sua tecnologia e aplicação no mercado.

- Células Convencionais – Este grupo é composto pelas células denominadas por McEvoy *et al.*, (2003) como as cristalinas. São as células e dispositivos fotovoltaicos manufaturados com base no Silício Monocristalino (mono-Si) e/ou no Silício Policristalino (poli-Si);
- Filmes Finos – Neste grupo, segundo McEvoy *et al.*, (2003), estão reunidas as células e dispositivos fotovoltaicos manufaturados com base no Silício Amorfo (a-Si), no silício microcristalino, e/ou nos compostos Policristalinos, tais como o Arseneto de Gálio (GaAs), ou o Telureto de Cádmio (CdTe), e/ou o Dissulfeto de Cobre e Índio Cu(In,Ga)Se₂.
- Outras tecnologias – A maior parte dessa categoria de tecnologia é composta por dispositivos fotovoltaicos manufaturados à base de películas finas. O princípio de fabricação se baseia na deposição de uma

ou várias camadas finas de material fotovoltaico sobre um substrato. Podem se constituir de:

- Silício amorfo (a-Si)
- Telureto de cádmio (CdTe)
- Cobre, índio e seleneto de gálio (CIS / CIGS)
- Células solares fotovoltaicas orgânicas (OPV)
- Artificial Leaf, a base de Dióxido de Titânio (TiO₂)
- Corantes fotoexcitáveis

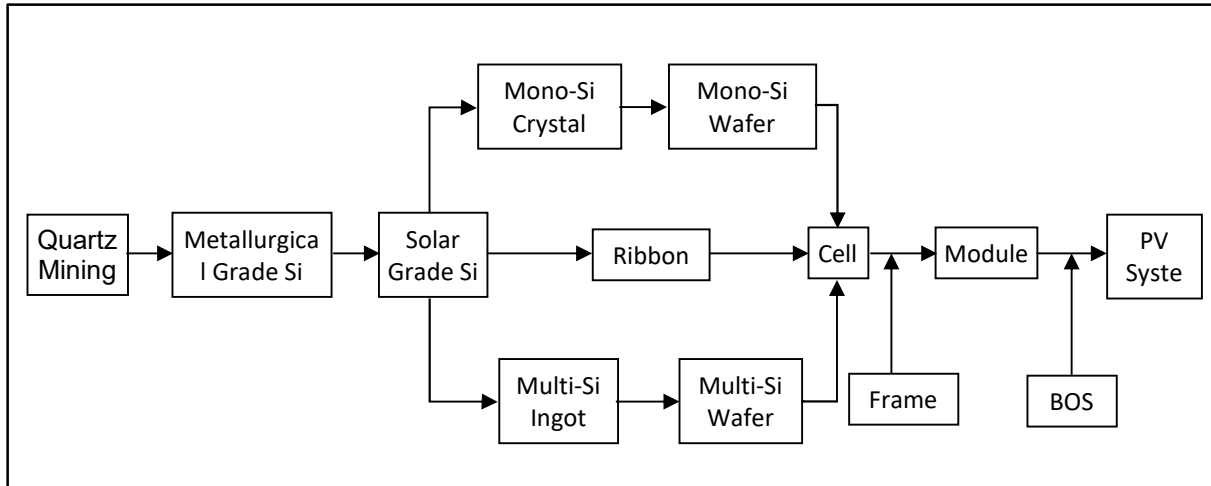
O silício é a principal substância utilizada na fabricação das células fotovoltaicas, empregado principalmente nas formas monocristalina, policristalina e amorfa. Essa ampla utilização do silício pode ser justificada em função de diversos fatores, pode-se citar principalmente: disponibilidade de material, técnica de produção conhecida, eficiência na conversão fotovoltaica, estabilidade do material na célula solar no longo prazo, compatibilidade com a detecção de boa parte do espectro solar e abundância de técnicas, processos e equipamentos advindos da microeletrônica. (GOETZBERGER et al., 1998).

O processo de manufatura dos dispositivos fotoelétricos a base de silício é complexo e formado por uma cadeia longa de diversos procedimentos, produzindo silício em diversos graus de pureza, como metalúrgico, solar e eletrônico. Cada grau desses o silício vai apresentar uma concentração de impurezas tais como Fe, Al, Ti, Mn, C, Ca, Mg, B, P e assim por diante.

A primeira fase de produção se dá com a extração da sílica, seguido pela metalurgia desta sílica, produzindo o silício grau metalúrgico (MG-Si), tipicamente 99.0wt% de Si. A partir dessa etapa os procedimentos se diferem dependendo do tipo de célula. Algumas células utilizam o próprio silício metalúrgico como base de confecção da célula (SINHA, 2011), outras realizam uma purificação do silício metalúrgico. A pureza mínima exigida de silício para aplicações fotovoltaicas é 6N e para lâminas de silício usadas na indústria de semicondutores é 9N. Com a matéria prima finalizada, a próxima etapa é o beneficiamento deste material, fazendo-o assumir a forma e características físicas da célula, havendo um processamento do dispositivo. Nas células monocristalinas, há ainda o beneficiamento do material para a formação do monocristal de silício. Este processo pode se dar através de métodos como

Czochralski, Float Zone e etc. Por fim tem-se o encapsulamento. A Figura 2 apresenta de forma resumida essa diferenciação das tecnologias.

Figura 2 – Diagrama do fluxo produtivo das células fotovoltaicas



Adaptado de: Fthenakis *et al.*, 2008

Conforme se pode inferir da figura acima, as primeiras etapas do processo produtivo de todas as tecnologias baseadas no silício são iguais. As etapas de mineração e metalurgia do silício são as mesmas. Para o silício amorfo, policristalino e monocristalino, a etapa de fabricação do silício grau solar ainda é semelhante. Já a célula HIT, que será apresentada posteriormente, apresenta semelhança até o mesmo processo de fabricação do silício de grau metalúrgico.

Das células solares FV apresentadas a que apresenta os maiores valores de eficiência são as de silício monocristalino (EPIA 2011), no entanto, seu processo produtivo é muito caro e exige uma estrutura de fabricação complexa. Há assim uma preferência pelas células de silício policristalino, pois sua menor complexidade produtiva e menor gasto de materiais geram menor gasto energético e menores custos produtivos, conseqüentemente menor custo final dos painéis. A desvantagem é a menor eficiência em comparação às células de silício monocristalino, em função da forma dos cristais que formam a sua estrutura.

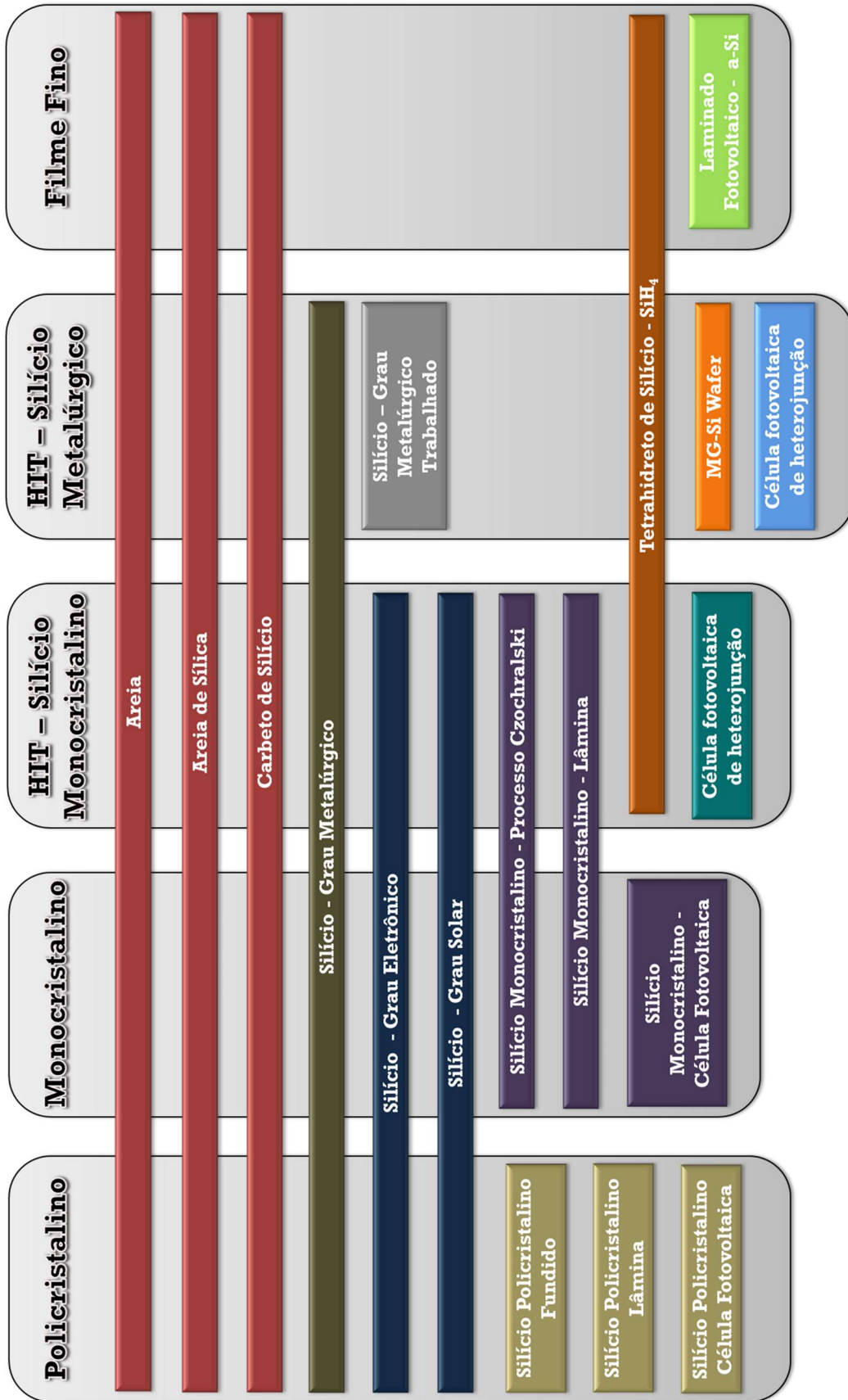
O surgimento das células de silício amorfo (a-Si:H) veio como uma proposta que utiliza menor quantidade de material e energia, mais barata e com uma estrutura mais simples de produção, (TSUDA *et al.*, 1997). Apesar dessas vantagens, as células baseadas em silício amorfo apresentam instabilidade da eficiência e degradação inicial considerável.

Na década de 90, surge outra tecnologia de células FV, a HIT (*Heterojunction with intrinsic Thin Layer*), ou heterojunção com camada fina intrínseca, que combina camadas de silício monocristalino com camadas de filme fino de silício amorfo. Estas células possuem uma camada de silício (geralmente monocristalino) envolvida por camadas de filme fino. Células desta tecnologia já atingem eficiência comprovada de 22% (TSUNOMURA *et al.*, 2009) devido ao fato de combinarem materiais que absorvem luz em diferentes faixas do espectro eletromagnético, aproveitando melhor a luz incidente. Outro fator importante é que as camadas de filme fino ajudam a reduzir as perdas por recombinação de cargas. Ainda, como vantagem, apresentam menores perdas na eficiência devido ao aumento da temperatura, na faixa dos 0,35%/°C contra valores acima de 0,4%/°C das tecnologias de silício cristalino, (SINHA, 2013). Este fato é especialmente importante para instalações em locais que apresentam elevada temperatura ambiente, como o Brasil.

Mais recentemente, a técnica de heterojunção foi modificada ao combinar silício em grau metalúrgico com silício amorfo. Não é necessária, nesta célula, nenhuma camada de silício mono ou policristalino, de forma que diversas etapas de produção não são mais necessárias. Células como esta apresentam, segundo seu fabricante, eficiências de 15-16%, (SINHA, 2013). Trata-se de um valor elevado se for levado em conta a simplicidade dos materiais e dos processos utilizados para sua fabricação. Os fabricantes sinalizam que o processo de fabricação destas células promete ser mais econômico e potencialmente menos agressivo ao meio ambiente.

A Figura 3 apresenta de forma esquemática os produtos resultantes de cada etapa produtiva das células, identificando aqueles que são comuns a cada tecnologia. Dessa forma é possível perceber as semelhanças nas etapas produtivas entre elas.

Figura 3 – Comparação processos produtivos



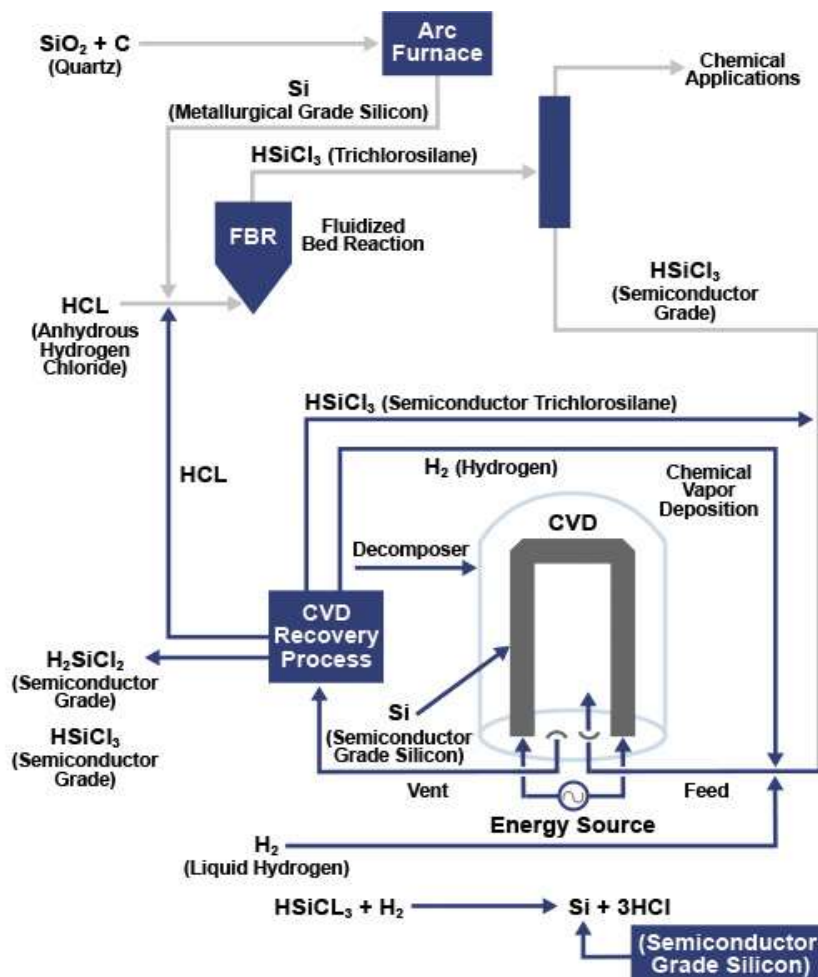
Fonte: Elaboração do próprio autor

2.1. Células de Silício Policristalino

As células de Silício Policristalino são aquelas que possuem suas estruturas formadas por diversos cristais, que são fundidos e solidificados com regiões cujas orientações cristalinas são variadas. Às vezes também chamadas de multicristalinas, são muito comuns em função de serem baratas, exigirem menos energia e gerarem menor quantidade de silício residual durante o processo de corte das células em comparação com as monocristalinas. Elas possuem também uma eficiência regular, melhor do que as de filme fino, mas pior do que as de silício monocristalino. As células policristalinas são caracterizadas por possuírem os grãos visíveis e a superfície parecida com um mosaico.

Na Figura 4 é apresentado o esquemático completo do processo produtivo do silício policristalino

Figura 4 – Processo produtivo das células de silício policristalino



Fonte: HEMLOCK Semiconductor

Para se iniciar a purificação do silício parte-se da escolha do material para se purificar. A forma comum de se encontrar o silício é através do dióxido de silício (SiO_2), que na forma cristalina é o quartzo e na forma amorfa é a sílica. Para a aplicação em painéis fotovoltaicos é necessário que o material esteja na forma cristalina. As reservas brasileiras de silício são consideradas as de melhor qualidade no mundo por se constituírem em grande parte de blocos (quartzo), (HELENA, *et al.*, 1992).

O refino deste material se inicia com a redução do dióxido de silício, com a adição de carbono (em forma de carvão), em um forno de arco-voltaico a uma temperatura de 1800°C a 2000°C . O oxigênio se combina com o carbono para liberar CO_2 . Este processo é conhecido como metalurgia do silício, alcançando aproximadamente 99% de pureza (chamado de silício grau-metalúrgico - MG-Si). Este valor de pureza, no entanto, é baixo para a confecção do módulo fotovoltaico, sendo necessário mais uma etapa de purificação, (LIMA, *et al.*, 2011).

Este silício MG-Si será o precursor para o silício policristalino de grau solar, necessitando que seja mais uma vez purificado. Existem duas técnicas de produção do silício policristalino a partir das fontes gasosas: o método do reator Siemens (GOETZBERGER *et al.*, 1998) e o método do reator de leito fluidizado (FBR), (WEIDHAUS *et al.*, 2005).

O método mais conhecido e usado é o Siemens. Ele é feito por via gasosa, fazendo reagir o silício grau metalúrgico com cloreto de hidrogênio - HCl e hidrogênio - H_2 na temperatura de 350°C . O aquecimento do MG-Si num reator de leito fluidizado resulta nos gases da família dos silanos, principalmente triclorossilano - SiHCl_3 , usado na produção do silício purificado, e o indesejado tetraclorosilano SiCl_4 , que ocorre em uma reação de competição com a do triclorossilano e que não é utilizada na produção do silício de forma direta, além de ser um gás altamente poluente (CIFTJA, 2008; CERCAROLI, 2003).

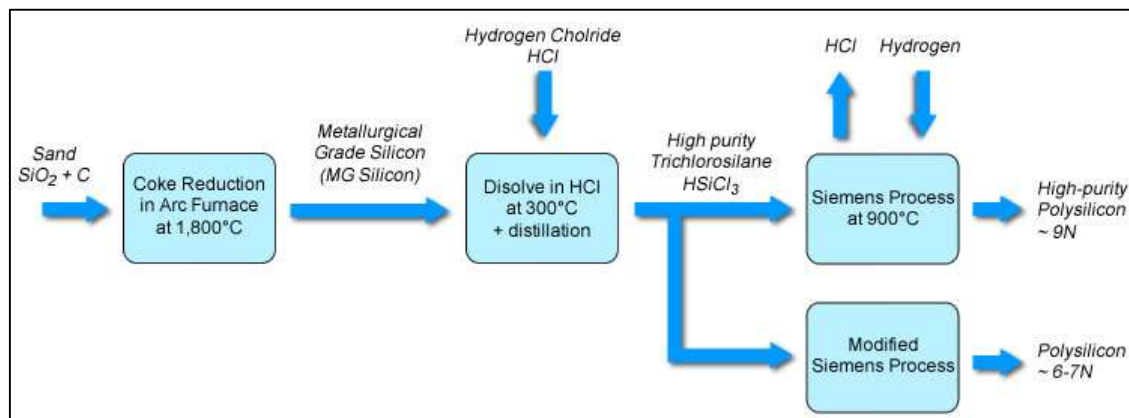


O triclorossilano passa por destilação sucessiva até atingir a pureza máxima, (CECCAROLI e LOHNE, 2003).

O triclorosilano, após a destilação é reduzido por hidrogênio novamente, a uma temperatura em torno de 1100 ° C, transformando-se em silício. Em um reator contendo varetas de silício policristalino aquecidas eletricamente, este silício gasoso se depositará uniformemente em forma policristalino até que seja atingido o diâmetro pretendido. Este processo produz silício policristalino com uma pureza de 99,99999 para as células fotovoltaicas e pode atingir até 99,9999999 no caso da microeletrônica, (TRENDFORCE CORP, 2011).

A figura 5 detalha o processo de produção do silício policristalino.

Figura 5 – Detalhe de produção da célula fotovoltaica baseada em silício policristalino



Fonte: GRE, 2014.

2.2. Células de Silício Monocristalino

As células de silício monocristalino são feitas a partir de um único cristal de silício e normalmente possuem uma coloração preta ou azul iridescente. Elas possuem a melhor eficiência comparada com as outras tecnologias tradicionais, apesar de serem mais caras.

Essa tecnologia é a mais antiga e foi por muitos anos a mais utilizada para a geração de energia através do sol.

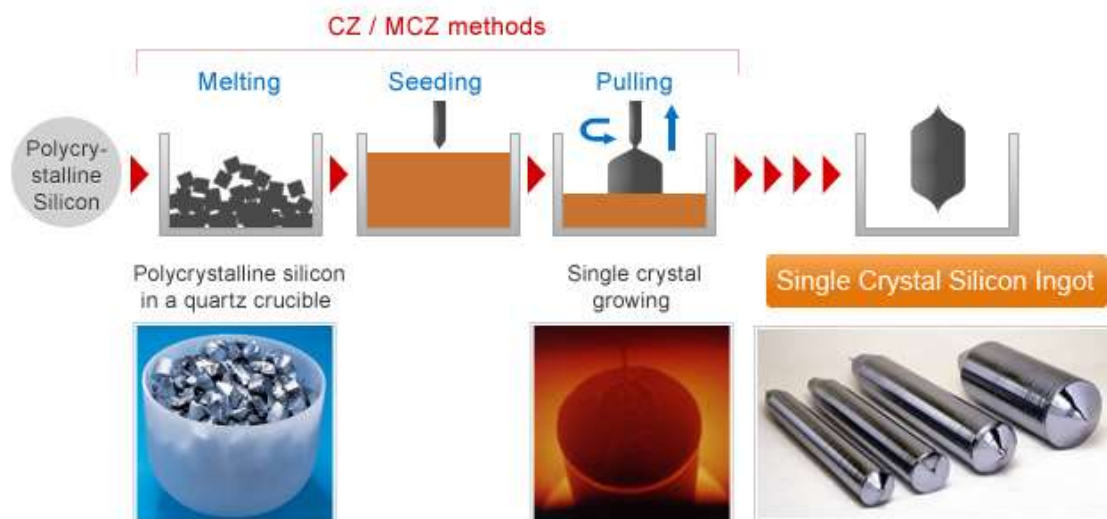
A fabricação do silício monocristalino inicia-se a partir do silício purificado, mas em forma de policristal, ou seja, a matéria prima é o silício policristalino. Temos o silício purificado, já dopado para o nível desejado, e o próximo passo deve ser a de convertê-lo em um único cristal. Para se obter barras de silício monocristalino existem duas técnicas: a Czochralski e o Refluxo Zonal, (CISZEK, *et al.*, 2002).

2.2.1. Método Czochralski

O método de fabricação do silício monocristalino mais comum é o Czochralski, desenvolvido em 1916. No método, o cristal cilíndrico de silício é extraído muito lentamente a partir de um cadinho que contém silício policristalino fundido, iniciando-se o processo com uma semente de silício monocristalino, (MCEVOY *et al.*, 2003).

A figura 6 mostra de forma esquemática as etapas de processo de fabricação do silício monocristalino utilizando o método Czochralski.

Figura 6 – Caracterização do processo de produção da célula monocristalina



Fonte: SUMCO Corporation, 2010

O silício policristalino é aquecido a uma temperatura em torno de 1420°C em um cadinho de quartzo revestido com grafite. Uma semente de silício monocristalino é inserida no cadinho e lentamente é erguida. À medida que vai havendo o resfriamento, o cadinho e a semente são girados. Esse procedimento vai orientando a formação de um novo cristal único de silício monocristalino. O diâmetro da barra vai sendo aumentado até a medida desejada, com o comprimento atingindo alguns metros, para futura manufatura das células fotovoltaicas, (CISZEK, *et al.*, 2002).

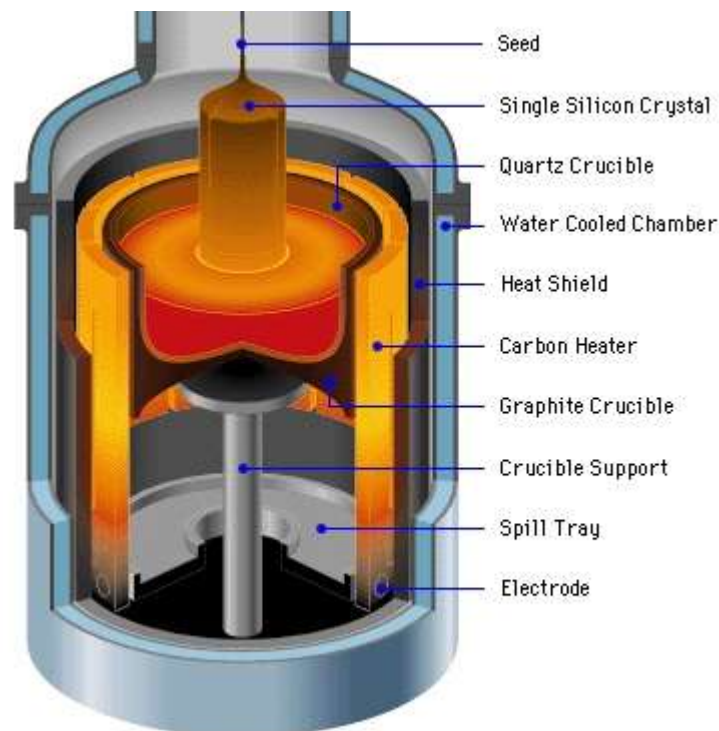
O sistema para a confecção da barra consiste de três principais elementos, (SUMCO CORPORATION, 2010):

1. Um forno com um cadinho de quartzo e grafite contendo silício fundido. Acoplado a esse cadinho um sistema de rotação, um elemento de aquecimento e uma fonte de alimentação elétrica.

2. Um sistema de movimentação da semente de silício, responsável pelo movimento de subida e descida e pela rotação.
3. Um ambiente controlado, com um sistema de exaustão, um controle de fluxo e a injeção de gás.

A figura 7 mostra com detalhes o processo de formação do silício monocristalino dentro do cadinho.

Figura 7 – Esquemático do cadinho usado no processo Czochralski



Fonte: SUMCO Corporation, 2010

Este processo insere algumas impurezas no material novamente. O contato do material ainda líquido com as paredes de quartzo (SiO_2), faz com que ele vá derretendo lentamente. Dessa maneira, há a liberação de uma grande quantidade de oxigênio na massa de silício fundida. A maior parte é liberada para o meio ambiente na forma de SiO , através da superfície do material, no entanto, parte permanece misturada ao produto fundido e pode se tornar parte constituinte do silício monocristalino que está se formando. Essa composição pode ser considerada como impureza. Há também a presença de carbono como impureza. O monóxido de silício que evapora do material reage com o grafite e monóxido de carbono e se adere ao cilindro. Além dessas duas impurezas há o oxigênio, que pode ser

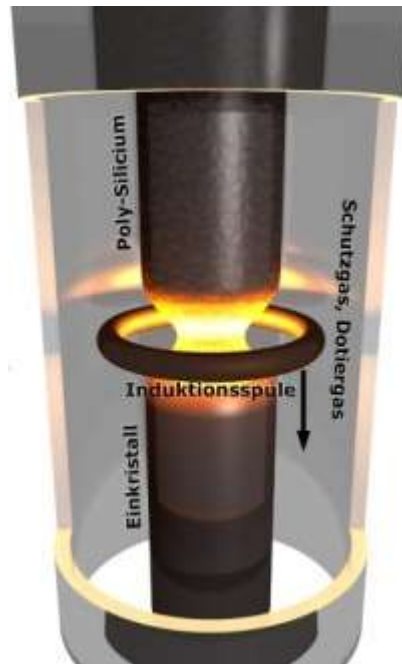
considerado como a impureza com a maior concentração no processo Czochralski (CISZEK, *et al.*, 2002).

2.2.2. Método Float Zone (FZ)

A técnica de *Float Zone* (FZ), ou zona fluida tem como material de partida as barras de poli-Si do processo Siemens, que são posteriormente recristalizadas por zona fundida induzida por radiofrequência, não existindo contato com materiais estranhos, (GOETZBERGER *et al.*, 1998). Esta técnica não tem expressão no contexto fotovoltaico por ser demasiado dispendiosa, embora tenha contribuído para a demonstração de células de silício de elevada eficiência uma vez que a qualidade do silício obtido é superior ao de CZ, (ZHAO *et al.*, 1999).

A tecnologia *Float Zone* (FZ) para a fabricação de silício monocristalino é o método que resulta no maior grau de pureza do material. O método é baseado no princípio da zona de fusão e foi inventado por Theuerer em 1962. A configuração de como é o processo é mostrada na Figura 8. Uma haste de silício policristalino de alta pureza é montada na vertical com uma semente de cristal monocristalino em uma atmosfera com vácuo ou com um gás inerte. Os dois são mantidos face a face na posição vertical e são rodados, (DOERING, *et al.*, 2007). Tanto a semente quanto a haste são parcialmente derretidos por um campo de radiofrequência. A semente é movimentada de baixo para cima para que haja contato com o silício policristalino derretido na ponta da haste. Um processo de estreitamento é realizado para estabelecer um deslocamento do cristal livre antes do pescoço para aumentar em diâmetro e formar um cone e atingir o diâmetro desejado. À medida que a zona fundida é movida ao longo da haste de silício policristalino, o material fundido solidifica em um único cristal de silício, simultaneamente, o material pode ter a sua pureza aumentada, em função da difusão e concentração de impurezas em uma das extremidades da haste, causado pelo movimento da semente, (DOERING, *et al.*, 2007).

Figura 8 – Configuração esquemática para a Zona processo - Float (FZ)



Fonte: SUMCO Corporation, 2010

2.3. Célula de Silício Amorfo

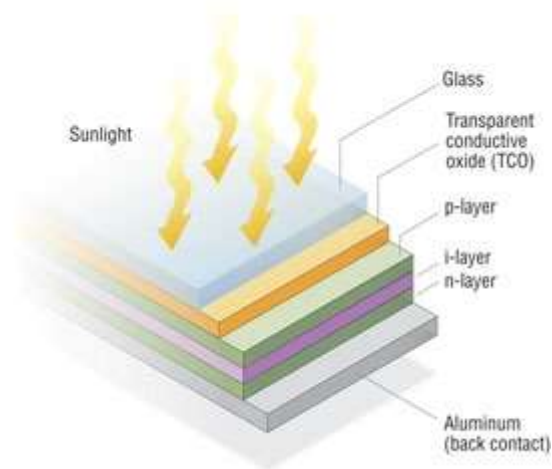
O Silício amorfo foi introduzido como um material com um potencial para dispositivos semicondutores em meados da década de 1970 e é o primeiro material de células solares de película fina que atingiu o estágio de produção em larga escala (20 MWp / ano no presente), (SHAH, *et al.*, 1999.). O silício amorfo adequado para aplicações eletrônicas e fotovoltaicas, em que é necessária a dopagem, é um material formado por silício e hidrogênio. Por isso, o silício amorfo para aplicações em células fotovoltaicas é chamado de silício amorfo hidrogenado (a-Si:H).

A tecnologia possui muitas propriedades para tornar a tecnologia vantajosa para a produção de Painéis Fotovoltaicos, incluindo um alto coeficiente de absorção óptica, o que permite espessuras muito pequenas do filme de absorção (iguais ou inferiores a 300 nm), (ABERLE, 2009).

As células formadas por silício amorfo constituem-se por camadas de silício dopadas para se formar as camadas p-n, com uma camada intermediária de material intrínseco, sem dopagem, conforme mostra a

Figura 9:

Figura 9 – Caracterização da célula de silício amorfo



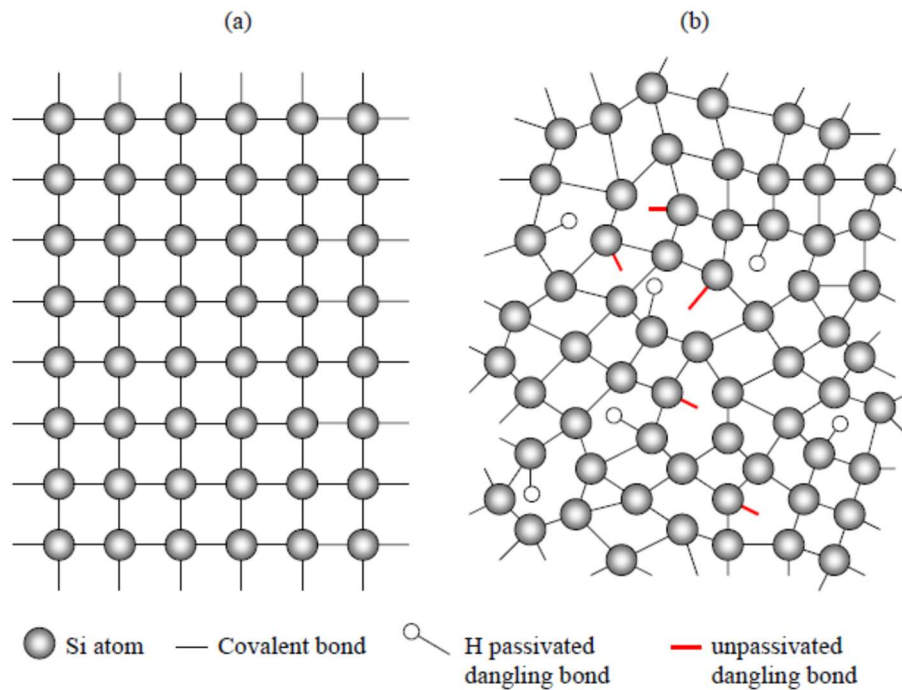
Fonte: U.S. Department Of Energy

Os processos de produção de a-Si, a plasma, ocorrem a temperaturas inferiores a 300 °C, possibilitando o depósito desses filmes sobre substratos de baixo custo, como o vidro, o aço inoxidável e alguns plásticos, (RÜTHER, 2004). As camadas à base de silício são depositadas no regime de baixa por técnicas de deposição de vapor químico de plasma assistida.

O silício amorfo, na sua constituição possui numerosos defeitos cristalinos, ou seja, não apresenta regularidade em sua rede e exige átomos de hidrogênio para passivar a alta concentração intrínseca de ligações pendentes. Devido a isso, ocorrem ligações livres que absorvem hidrogênio até a saturação.

A Figura 10 ilustra a diferença na estrutura atômica entre silício monocristalino e a-Si: H.

Figura 10 – Representação esquemática da estrutura do (a) Silício Monocristalino (b) Silício Amorfo Hidrogenado

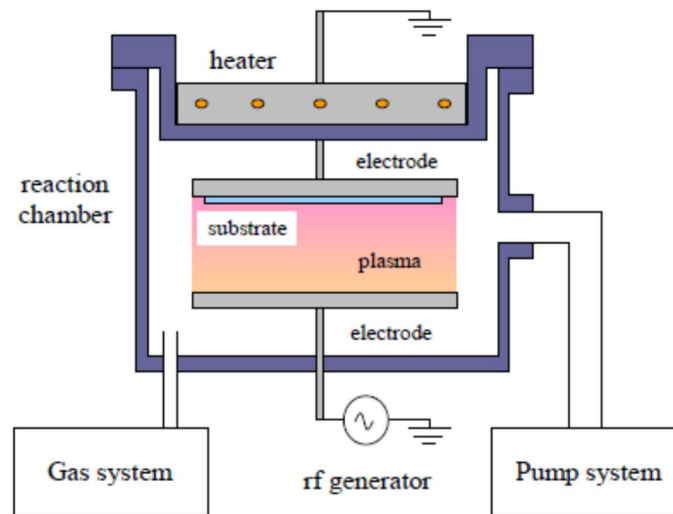


Fonte: Zeman, 2013

Os grandes desvios nos ângulos e comprimento das ligações entre os átomos vizinhos do silício amorfo resultam em ligações fracas. As ligações fracas precisam de maior energia para se manterem. Dessa maneira, essas ligações podem se quebrar mais facilmente e os defeitos na rede atômica surgem com mais facilidade.

O silício amorfo hidrogenado (a-Si:H) é criado em reatores de plasma, pela deposição de silano gasoso (SiH_4), em temperaturas entre $220\text{ }^\circ\text{C}$ e $250\text{ }^\circ\text{C}$. O método mais utilizado para a deposição do a-Si:H, tanto no laboratório quanto em escala industrial, é a decomposição de plasma de silano a rádio frequência (13,56 MHz), conhecido como Deposição Química na Fase Vapor Assistido por Plasma - *Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition* (PECVD) ou método de descarga luminescente - *Glow Discharge* (GD), (ZEMAN, 2013). O sistema de deposição de PECVD é mostrado na Figura 11.

Figura 11 – Deposição Química na Fase Vapor Assistido por Plasma PECVD (*Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition*)



Fonte: Fonte: Zeman, 2013

A função do plasma é de proporcionar uma fonte de energia para dissociar as moléculas de Silano SiH_4 . Isso é feito por colisões com elétrons, que se originam como elétrons secundários no plasma que aumentam a sua energia pela aceleração em um campo elétrico.

O filme de silício amorfo se forma por ligação de partículas reativas de moléculas dissociadas de silano - SiH_4 , chamados radicais, à superfície da película em crescimento. Assim que a espessura da película de a-Si:H atinge o valor desejado, que variará em função do tipo de célula, deve ser depositada sobre um substrato de suporte adequado. Uma parte da energia transferida para as moléculas SiH_4 nas colisões com elétrons é irradiada como a luz visível, daí o método de deposição também é chamado de descarga luminescente.

O sistema de deposição PECVD é relativamente simples e consiste em cinco partes principais, (ZEMAN, 2013):

- Câmara de reação com os eletrodos paralelos capacitivamente acoplados;
- Sistema de bomba de vácuo;
- Sistema de tratamento dos gases;
- Fonte de alimentação contínua ou rádio frequência;
- Conjunto de aquecimento de substrato;

A dopagem do material é feita simplesmente adicionando os gases apropriados para a mistura. Para fazer material do tipo p adiciona-se o B_2H_6 (Diborano) e o Boro é incorporado ao material. Já para a formação de material tipo n adiciona-se PH_3 (Fosfina) e o fósforo é incorporado ao material.

Devido à pequena extensão da difusão do a-Si:H dopado, os elétrons e buracos livres na junção-PN não sobrevivem tempo suficiente para gerar uma corrente elétrica externa. Por isso uma camada de a-Si:H intrínseco (não dopado) é colocada entre camadas de a-Si:H do tipo-N e do tipo-P, na qual as cargas elétricas duram mais tempo. É nessa camada que acontece a absorção da luz e liberação dos elétrons, (BLUE SOL, 2012).

A principal desvantagem do silício amorfo está na sua baixa eficiência, que diminui ainda mais durante os primeiros 6 a 12 meses de operação, devido à degradação induzida pela luz através do efeito Staebler-Wronsky, (KOLODZIEJ, 2004), antes de se estabilizar e alcançar a potência nominal de operação. A eficiência diminui e se estabiliza após 1.000 horas de iluminação.

Para tentar minimizar os efeitos dessa perda de eficiência inicial, alguns fabricantes produzem células empilhando as estruturas p-i-n umas sobre as outras. Dessa forma as células sofrem menos os efeitos de envelhecimento, e as camadas de a-Si:H do tipo-I são mais finas e, conseqüentemente, menos susceptíveis à degradação pela luz, (BLUE SOL, 2012).

As células fabricadas com o silício amorfo, em função de suas características consomem menos de 1% de matéria-prima em comparação com as células de silício cristalino. Essa economia é muito significativa, se tornando um ponto muito considerável na justificativa de sua utilização.

Atualmente, células que utilizam essa tecnologia conseguem alcançar eficiências de conversão de 12,5% em laboratórios. Já as células fabricadas em escala industrial têm eficiências de 6% a 9%. Apesar dos valores serem baixos, se comparados com as outras tecnologias, as células solares de silício amorfo são mais leves, mais flexíveis, e menos dispendiosos os seus processos produtivos. Células solares de silício amorfo representaram cerca de 3% do mercado mundial de 2011, (ENERGY.GOV, 2015).

Módulos de silício amorfo parecem uma boa solução para situações em que o baixo custo dos módulos é mais importante do que a alta eficiência. Eles são especialmente adequados para equipamentos isolados, como bombas ou em locais com espaços integrados, como em edifícios, onde áreas de superfícies podem ser disponibilizadas sem alto custo extra. No setor de fontes de alimentação para pequenos aparelhos, silício amorfo tem uma posição destacada e pode representar uma alternativa muito interessante.

Um ponto bastante positivo para o desenvolvimento desta tecnologia no Brasil consiste no fato do a-Si não possuir uma redução significativa da sua potência gerada em função do aumento da temperatura de operação, (RÜTHER e LIVINGSTONE, 1993)

2.4. HIT Metalúrgico

O processo de fabricação das células HIT de silício em grau metalúrgico é significativamente mais simples que os processos de células tradicionais. De acordo com, (SINHA, 2011), a célula solar é fabricada através da utilização de lâmina de silício de custo reduzido, em grau metalúrgico, com 4 a 5 “noves” de grau de pureza, Essas pastilhas ainda são combinadas com a deposição de filmes finos de espessuras muito pequenas sobre o substrato, com cerca de 10% da espessura das células solares de filme fino convencionais. O fabricante denomina estas células por *SmartSilicon cells*.

A estrutura desta célula é composta essencialmente por um substrato de silício dopado (tipo-p) com grau metalúrgico e uma estrutura de filme fino. A estrutura de película fina é formada por uma camada de silício amorfo intrínseco sobre o substrato, e uma camada amorfa do tipo n disposta na parte superior da camada intrínseca. Na parte inferior, a estrutura de película fina é formada por uma camada de silício amorfo intrínseco sobre o substrato, e uma camada amorfa do tipo p disposta na parte inferior da camada intrínseca. Desta maneira, é formada uma junção p-i-n com o substrato. Para a formação do módulo ainda existem outras camadas, que são: uma camada antirreflexiva (ARC, *anti-reflection coating*), óxido transparente condutor, ou TCO (*transparent conductive oxide*), e ainda uma camada

traseira de alumínio para contato. Figura 12 mostra a configuração básica destas células.

Figura 12 – Configuração em camadas da célula HIT *SmartSilicon*, com as espessuras máximas.

ARC (50 nm)
TCO (300 nm)
a-Si:H tipo-n (200 nm)
a-Si:H tipo-i (100 nm)
Wafer de Silício Metalúrgico tipo-p (500 μ m)
a-Si:H tipo-i (100 nm)
a-Si:H tipo-p (200 nm)
Contato traseiro de alumínio (500 nm)

Fonte: SINHA, 2011

Ainda, na Figura 12 estão indicadas as espessuras máximas que cada camada pode atingir nessa célula. Observa-se que essas espessuras podem variar de acordo com definições do fabricante e imprecisões no processo de fabricação.

Nota-se que a lâmina de silício metalúrgico ou substrato é responsável por cerca de 99,7% da espessura das camadas da célula. Portanto, o processo, materiais utilizados, gasto energético e custo da fabricação dessas células são determinados majoritariamente pelo processo de fabricação de lâminas de silício em grau metalúrgico.

As células HIT *SmartSilicon* utilizam o silício em grau metalúrgico, que recebe um tratamento simplificado: primeiramente é fundido em moldes quadrados ou redondos, e posteriormente é deixado solidificar lentamente dentro de um cilindro com grandes grãos de silício. Opcionalmente, o cilindro solidificado é refundido e, em seguida, solidificado em seções, de modo a mover as impurezas para os lados do cilindro. Neste processo, a taxa e a temperatura de gradiente de arrefecimento são controlados na direção horizontal, de modo a fazer com que as impurezas passem para a superfície do cilindro, e no sentido vertical, para fazer com que as impurezas se concentrem nos limites dos grãos de silício. A seguir o silício fundido é dopado com uma pequena quantidade de boro para produzir uma camada do tipo p,

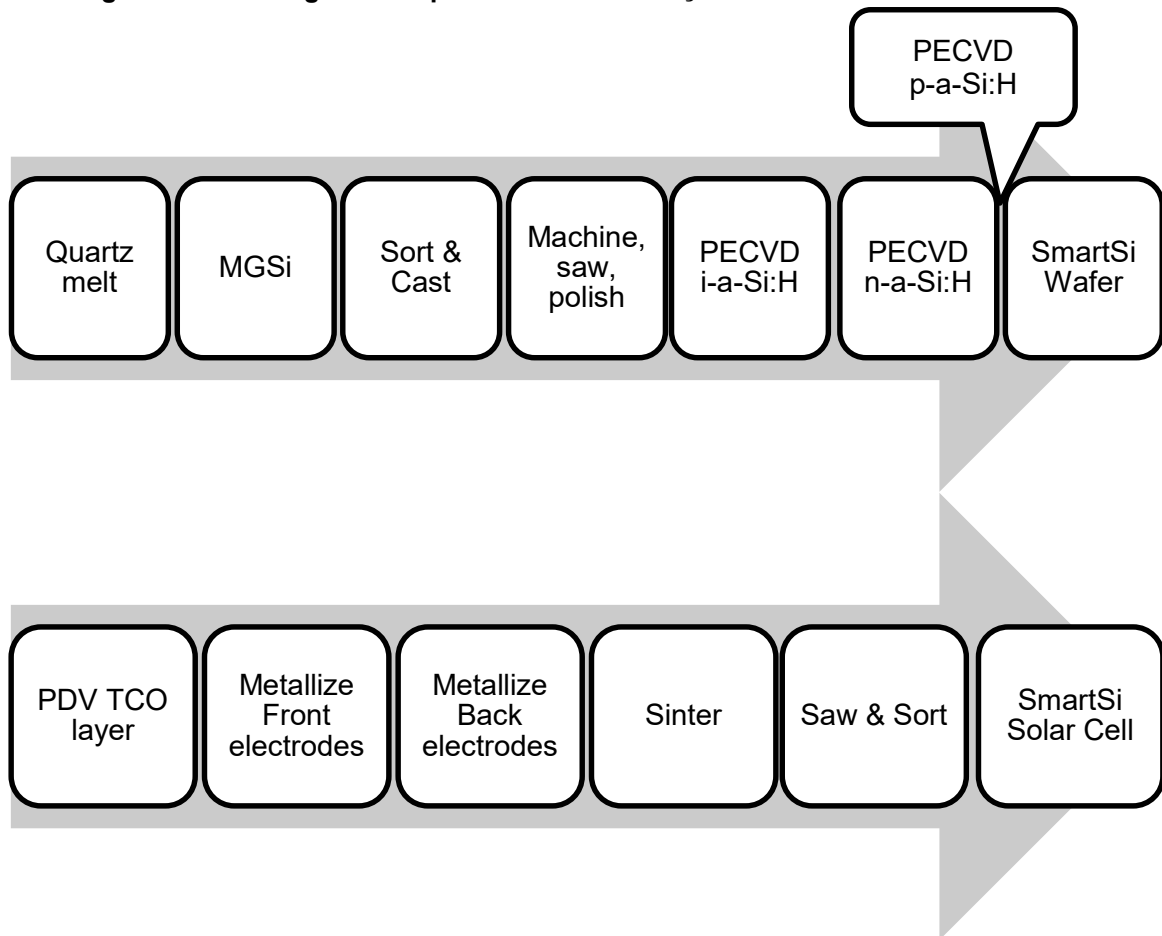
com cerca de 5×10^{17} átomos/cm³ de boro. Em seguida a superfície dos cilindros sólidos são usinadas (polidas). Por fim, o cilindro é cortado em lâminas de silício, utilizando, por exemplo, o diamante ou uma serra de fio e, em seguida, a superfície é polida de um lado, enquanto o outro lado recebe um tratamento químico para um acabamento suave. Neste momento, o silício em grau metalúrgico está trabalhado, em forma de lâminas, e pronto para receber a deposição das camadas de filme fino que compõem a célula, (SINHA, 2011).

Para junção das camadas de filme fino ao substrato de silício metalúrgico, uma câmara de PECVD (*Plasma-enhanced chemical vapor deposition*) é usada para formar uma camada fina de silício amorfo intrínseco, i-a-Si:H, para passivar a superfície de ambos os lados do substrato de silício metalúrgico. Em seguida, a câmara de PECVD é também usada, para formar as camadas n-a-Si:H e p-a-Si:H, sobre as camadas intrínsecas. A configuração resultante é apresentada na Figura 12. Neste ponto, um acabamento suave denominado *SmartSi* foi criado, contendo o substrato de silício metalúrgico e as camadas de filme fino, (SINHA, 2011).

A fabricação da camada do óxido condutor transparente (TCO) é feita utilizando óxido de estanho (SnO₂) ou óxido de índio-estanho (ITO). A vantagem dos TCOs é que eles são praticamente invisíveis à entrada de luz, formando uma boa ponte de material semicondutor para o circuito elétrico externo. A camada de TCO é formada usando o processo CVD (*chemical vapor deposition*), (SINHA, 2011).

O contato traseiro é metalizado para formar eletrodos coletores usando, por exemplo, pasta de prata. No passo final as lâminas são cortadas com a forma desejada e, em seguida, classificadas de acordo com a eficiência de conversão. A Figura 13 (SINHA, 2011), mostra o passo-a-passo das etapas de fabricação das células *SmartSilicon*, ou *SmartSi*.

Figura 13 – Visão global do processo de fabricação das células HIT *SmartSilicon*



Fonte: Adaptado de SINHA, 2011

Essa célula apresenta como vantagem, a menor perda de eficiência com o aumento da temperatura, (SINHA, 2011). Esse fato se deve à deposição de silício amorfo sobre a pastilha de silício. Dessa maneira, a utilização de placas com essa tecnologia se torna vantajosa em países que possuem elevadas temperaturas, como o Brasil.

2.5. Considerações Finais do Capítulo

Neste capítulo foram apresentadas as tecnologias de geração fotovoltaica que foram propostas para serem analisadas no trabalho. Foram mostradas as principais características e o processo produtivo de cada uma delas. No capítulo 3 são apresentados os impactos presentes em cada das etapas produtivas dos módulos fotovoltaicos, bem como a montagem dos painéis e da própria usina de geração de energia. São relatados também os impactos no descomissionamento das usinas, no

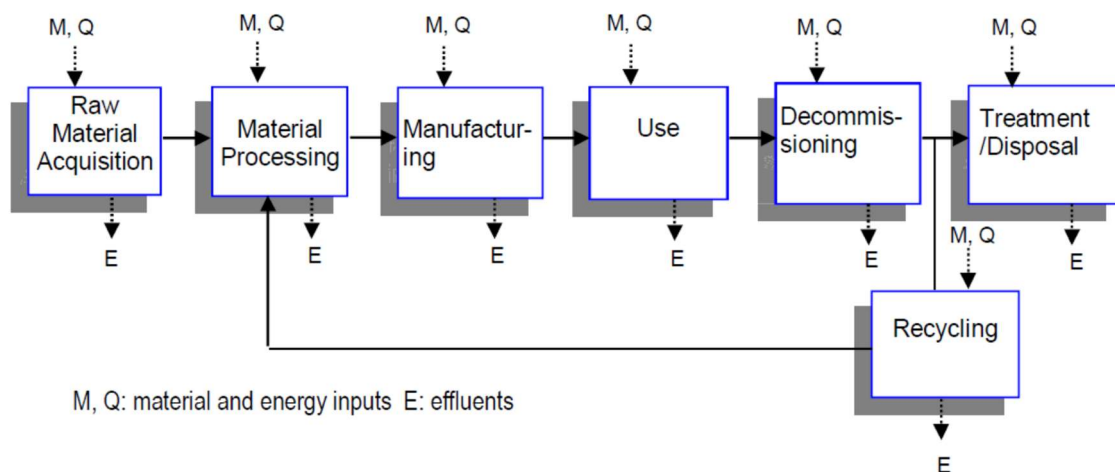
seu final de vida útil e os impactos nos meios social e econômico envolvidos em todo o ciclo da tecnologia de geração fotovoltaica.

3. IMPACTOS AMBIENTAIS

O processo produtivo dos painéis fotovoltaicos se caracteriza pela semelhança com a fabricação de produtos da indústria eletrônica. As etapas de produção das células apresentam vários dos mesmos materiais utilizados na manufatura de chips de silício, e dessa maneira apresentam muitos dos mesmos riscos.

A fabricação de dispositivos de silício semicondutor necessita de diversas fases, que se inicia com a extração da sílica, passando pela produção de silício metalúrgico, purificação, processamento do dispositivo e, finalmente, o encapsulamento. Essas etapas requerem a utilização intensiva de energia e o uso em larga quantidade de água e produtos químicos tóxicos, (MULVANEY *et al.*, 2009). Essas etapas provocam diversos impactos, como a emissão de pó de sílica, desmatamentos, poluição das águas, alteração da fauna e flora, liberação de gases tóxicos e de efeito estufa além do lançamento de metais pesados no ambiente. A ilustração esquemática do ciclo de vida da tecnologia é mostrada na figura 14.

Figura 14 – Diagrama do ciclo de vida do sistema fotovoltaico, incluindo entrada de energia e material e efluentes



Fonte: Fthenakis *et al.* 2011b

Além disso, associados às técnicas de produção, dependendo de cada tipo de célula há importantes impactos no meio ambiente que devem ser considerados quando da avaliação e comparação entre as diferentes tecnologias de células FV.

3.1. Impactos na Extração do Silício

O primeiro passo do processo de fabricação das placas fotovoltaicas é a mineração do silício. No Brasil, a lavra de quartzo é em sua maioria realizada por desmonte manual, a céu aberto, através de pás e picaretas e não são muito profundas, não passando de 20 metros. Há também a utilização de explosivos em algumas minas para se conseguir uma quantidade maior de lascas de quartzo para exportação, (LASTRES, *et al.*, 1992). Pode-se dizer que a tecnologia empregada na extração é rudimentar e a proporção extraída do material utilizável é extremamente pequena em relação ao quartzo existente no depósito, (LOBATO, 2009).

O processo, dessa maneira, se caracteriza por uma mineração padrão, como de qualquer outro mineral, impactando através das diversas fases de exploração dos bens minerais, iniciando com a abertura da cava, passando pelo desmonte das rochas e finalizando com o transporte e beneficiamento. Essas atividades irão afetar os meios como água, solo e ar, além da população local.

Os principais problemas oriundos da mineração podem ser englobados em (SILVA, 2007):

- Degradação da Paisagem

Como qualquer atividade mineradora, os grandes impactos decorrentes da atividade é a retirada da fauna e flora e o desmonte dos perfis do relevo. Para que seja possível a extração dos materiais, a vegetação que recobre as minas e seus arredores deve ser retirada. Já para o desmonte das rochas utilizam-se de máquinas de impacto e explosões. Essas alterações modificam o visual da paisagem, com a redução da mata nativa, deslocamento da vida selvagem e supressão do perfil do relevo.

- Poluição da água

A poluição das águas provocada pela mineração é causada principalmente por lama e produtos químicos solúveis. A lama se forma pela própria necessidade de desmonte de quantidades significativas de terras. Já a contaminação química ocorre por efluentes que se dissolvem na água usada no tratamento do minério ou na água que passa pela área de mineração. Além desses impactos há ainda o assoreamento

e contaminação dos rios ocasionados pela movimentação de matéria levada pelas chuvas ou mesmo pela própria água utilizada na extração do mineral até rios, lagos, lagoas e etc.

- Ruídos e Vibração

As atividades de desmonte e extração de material, feito através de ferramentas manuais, equipamentos ou explosões impactam de forma significativa na geração de ruídos e vibração. Estes ruídos impactam na qualidade de vida da comunidade, prejudicando a tranquilidade pública, com elevados ruídos, diminuição da vida útil dos imóveis, além de afugentar a fauna da região, modificando o ambiente de lazer da população.

- Tráfego de Veículos

A necessidade de transporte da matéria prima para processamento e posterior entrega para que seja feita a metalurgia acarreta na movimentação de veículos pesado, criando um tráfego intenso. Esses veículos carregados causam uma série de transtornos à comunidade e ao meio ambiente. Há a emissão de poeira e gases, deterioração das estradas e vias da região e emissão de ruídos. Há também o afastamento da fauna e atropelamento de animais silvestres presentes no habitat.

- Poeira e Gases

A poeira e gases representa um grande impacto na saúde dos habitantes e dos animais, além dos transtornos sofridos pela vegetação próximos à mineração. As causas são diversas, indo desde a perfuração e explosão das rochas, passando pelo transporte do material e indo até o beneficiamento.

- Rejeito e Estéril

Após o beneficiamento da matéria prima, ocorre a sobra de material com pouco aproveitamento, o rejeito. O descarte desse rejeito se torna um problema de grandes proporções se feito de maneira inadequada. Pode ocorrer o lançamento destes materiais nos sistemas de captação e drenagem, ou mesmo lavagem por chuva e conseqüente acúmulo em rios e lagos. Além disso, quando esses depósitos ficam muito volumosos, tornam-se, por si mesmos, instáveis e sujeitos a escorregamentos

localizados. As barragens também se tornam motivo de preocupação, em função do seu manuseio, pois estes são fontes de constantes acidentes.

3.2. Impactos na Metalurgia do Silício

A etapa de metalurgia do silício ocorre através da redução carbotérmica de dióxido de silício em fornos elétricos a arco submerso a temperaturas superiores a 1900°C. Quartzos, quartizitos ou areias silicosas, são reduzidos utilizando o carbono presente no coque de petróleo, carvão mineral ou vegetal como agente redutor, (MORI, *et al.*, 2007).

O óxido de silício é transformado em silício fundido. Três eletrodos de carbono pré-cozidos são submersos no material de carga, alimentado de uma fonte de corrente, que o aquece. O silício é retirado do forno a partir do fundo através de uma saída na parte inferior, e refinado por tratamento de escória ou purga de gás. Após o refino, a liga fundida é deixada a arrefecer no molde e, em seguida, triturada para um tamanho específico. O silício produzido por este processo é denominado grau metalúrgico, apresentando um grau de pureza de aproximadamente 99%, dependendo da pureza da matéria prima, (MORI *et al.*, 2007).

Várias reações estão presentes na redução do silício, exigindo condições especiais de operação, iniciando pela utilização de matéria prima de qualidade, com o correto balanço de carbono e porosidade suficiente da carga no forno, além disso, necessidade de boas condições de vazamento, (SILVA, 1999).

A principal emissão dessa etapa é o pó de sílica, que pode causar doenças pulmonares. Este pó é formado como um subproduto do processo de fundição. Mas os impactos não ficam restritos a essa emissão, pois para a formação da massa redutora e no processo de aquecimento são liberados gases tóxicos e causadores de efeito estufa. Gases como CO, SiO, NO_x, SO_x e CO₂.

O material particulado está presente em quase todos os processos da metalurgia, em maior ou menor escala. Elas podem ser difusas, ou seja, quando ocorre alguma descarga ou defeitos, ou pontuais, oriundas das chaminés, dos dutos de exaustão da combustão ou mesmo dos sistemas de controle.

Já as emissões dos materiais acidificantes estão relacionadas ao processo de combustão, que podem ser originados do carvão mineral, ou dos combustíveis líquidos, gasosos e sólidos, emitindo SO_x , e NO_x . Os processos de queima também envolvem a emissão do Monóxido de Carbono CO , quando ocorre a queima incompleta e CO_2 na queima completa.

3.3. Impactos na Purificação do Silício

As impurezas desempenham um papel vital em células solares de silício. As impurezas injetadas intencionalmente, ou seja, as dopantes, tais como o boro e fósforo, em pequenas quantidades, são desejáveis para a formação da junção p-n, necessária para a geração de eletricidade na célula solar de silício. Outras impurezas, de cunho geral, têm efeitos adversos sobre as células solares, prejudicando a estrutura das ligações e levando à formação de defeitos e imperfeições na conformação, comprometendo suas propriedades mecânicas e elétricas, ocasionando a redução da eficiência da célula solar.

O silício para uso nas placas fotovoltaicas deve atingir elevado grau de pureza, que dependendo da tecnologia pode requisitar até 99,9999999% (TRENDFORCE CORP, 2011), o que requer uma etapa de purificação. Cada tecnologia apresenta uma forma de se obter essa pureza. No entanto, este processo de fabricação consome enormes quantidades de energia, representando um valor significativa dentro do processo como um todo.

O uso de gás de silano (SiH_4) é um risco significativo na produção de silício grau solar, porque é extremamente explosivo e apresenta um perigo potencial para os trabalhadores e comunidades. A produção de silano (SiH_4) e triclorosilano (HCl_3Si) resulta em tetracloreto de silício (SiCl_4) como resíduo, uma substância extremamente tóxica, que reage violentamente com a água, causa queimaduras na pele, prejudica o sistema respiratório e causa irritação dos olhos, (MULVANEY *et al.*, 2009).

Outro impacto advindo dessa etapa da produção é a emissão de hexafluoreto de enxofre (SF_6), que é um gás de efeito estufa extremamente potente. Ele é usado para limpar os reatores utilizados na produção de silício. Além disso, a reação do

hexafluoreto de enxofre (SF_6) pode provocar emissões de dióxido de enxofre (SO_2), propiciando a ocorrência de chuva ácida.

Há também impacto considerável os possíveis lançamentos na água. Em todo processo de purificação do silício há a manipulação de diversos produtos químicos e a necessidade de resfriamento dos gases e do próprio material. Existem dessa maneira dois momentos para a utilização da água: utilização no processo de fabricação do produto, quando o recurso integra-se ao produto fabricado; e na utilização em serviços complementares ao processo de fabricação, (DERÍSIO, 2000).

Há ainda produtos químicos que podem requerer procedimentos especiais de manipulação e de eliminação. São eles (MULVANEY *et al.*, 2009):

- produtos químicos corrosivos, como ácido clorídrico (HCl), ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido nítrico (HNO_3) e ácido fluorídrico (HF) são utilizados para remover as impurezas e como materiais de limpeza de semicondutores.
- fosfina (PH_3) ou gás tóxico de arsina (AsH_3) é utilizado na dopagem do material semicondutor. Mesmo usados em pequenas quantidades, a contenção inadequada ou liberação acidental apresenta riscos ocupacionais. O processo de dopagem ainda inclui oxiclreto de fósforo (POCl_3), tricloreto de fósforo (PCl_3), brometo de boro (BBr_3) e tricloreto de boro (BCl_3).
- O álcool isopropílico ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$) é usado para limpar as células de silício. A superfície da pastilha é oxidada em dióxido de silício (SiO_2) para proteger a célula solar.
- Produtos químicos liberados em emissões atmosféricas como tricloroetano ($\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_3$), oxiclreto de fósforo (POCl_3) e de estanho, acetona ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$) e amônia (NH_3).

Especificamente para o caso do silício policristalino, há ainda outros materiais usados na produção, que precisam de um cuidado especial para manusear e procedimentos para utiliza-los, são eles (MULVANEY, 2013): amoníaco (NH_3), catalisador de cobre, diborano (B_2H_6), acetato de etilo ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$), acetato de vinilo etilo, hidrogênio, peróxido de hidrogênio (H_2O_2), íon catalisador de amina, nitrogênio,

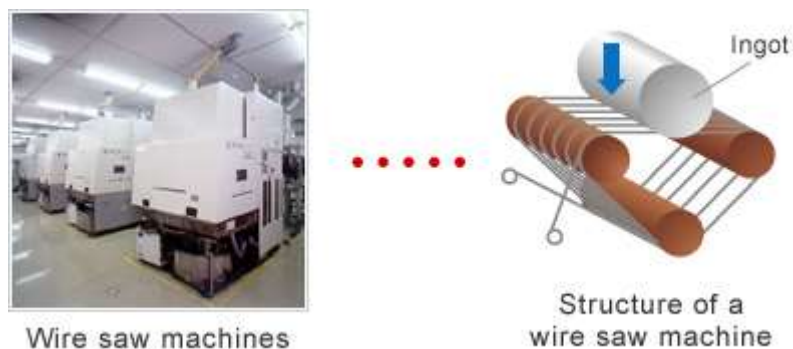
o trióxido de silício (SiO_3), cloreto de estanho (SnCl_2), pentóxido de tântalo (Ta_2O_5), titânio e dióxido de titânio (TiO_2).

Já para o caso do silício monocristalino, além dos produtos químicos usados por toda a produção de células de silício cristalino, existem alguns produtos químicos que devem ser considerados em relação à sua manipulação para que não ocorra acidente, são eles (MULVANEY, 2013): fluoreto de amônio (NH_4F), nitrogênio, oxigênio, fósforo, oxiclreto de fósforo (POCl_3) e estanho.

3.4. Impactos na Montagem dos Módulos e Painéis Fotovoltaicos

Após a fabricação do silício cristalino, há a necessidade de se fabricar a lâmina para a montagem do módulo fotovoltaico. A primeira etapa é o fatiamento do silício. A barra de silício é cortada em um diâmetro uniforme, com a espessura de aproximadamente 1 mm, utilizando uma serra. O desenho esquemático desse processo é mostrado na figura 15.

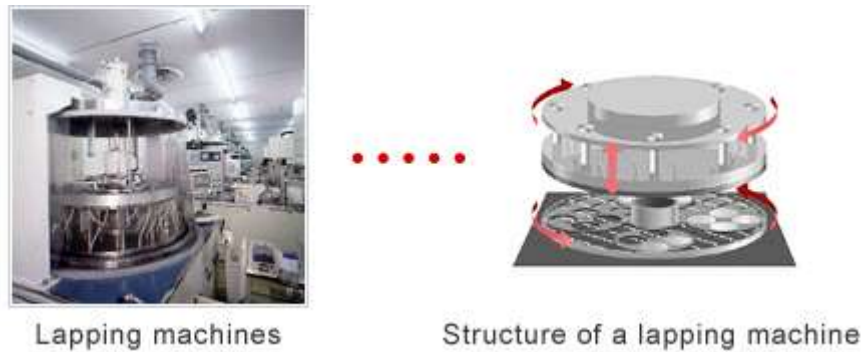
Figura 15 – Detalhe do processo de serragem da barra de silício



Fonte: SUMCO Corporation, 2010

Após o fatiamento é necessário o polimento. Para remover as rugosidades da superfície do material cortado, feitas pela serra, utiliza-se um processo mecânico de polimento, com o auxílio de alumina abrasiva, (SUMCO CORPORATION, 2010). O processo de polimento é mostrado na figura 16.

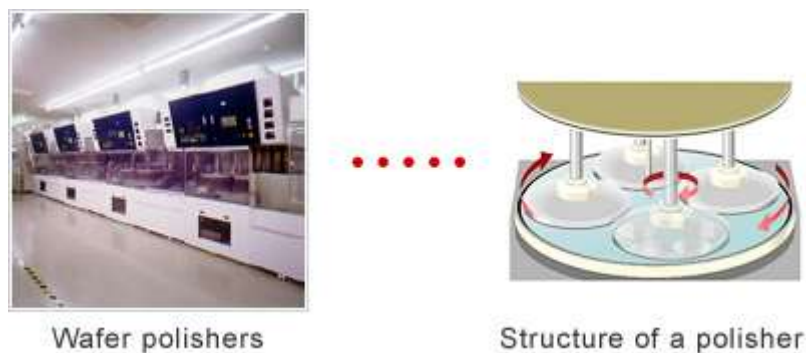
Figura 16 – Primeira etapa do processo de polimento da célula fotovoltaica



Fonte: SUMCO Corporation, 2010

Após o polimento químico, é realizada lavagem química. Este processo retira as imperfeições deixadas pelo processo de polimento mecânico. Após a lavagem, é realizado o polimento final para deixar a superfície completamente plana e com as faces paralelas, (SUMCO CORPORATION, 2010). A figura 17 ilustra a segunda etapa de polimento da célula fotovoltaica.

Figura 17 – Segunda etapa do processo de polimento da célula fotovoltaica



Fonte: SUMCO Corporation, 2010

Todas essas etapas envolvem a emissão de muitos particulados e componentes químicos, com alto grau de potencial poluidor.

Serrar os cilindros silício cristalino para a fabricação das lâminas cria uma quantidade significativa de resíduos de pó de silício. Pode haver perda de até 50% do material, que será emitido para o ar e a água utilizada para enxaguar as células. Este processo pode gerar um grande volume de particulado de silício.

O polimento mecânico, utilizando a alumina, tem que ter um manuseio especial, armazenamento e descarte adequado.

A etapa de lavagem química libera grandes quantidades de hidróxido de sódio. Em alguns casos, o hidróxido de potássio é utilizado em vez disso. Estes produtos químicos cáusticos são perigosos para os olhos, pulmões e pele.

3.5. Impactos na Implantação das Usinas

Nesta etapa a análise se dá a partir dos painéis fotovoltaicos prontos. A consideração deverá ser feita na montagem e complementação da estrutura de fixação. Há impactos advindos da conexão dos painéis, dos inversores e das estruturas de suporte. Os perigos dessas atividades estão associados aos industriais convencionais, envolvendo materiais como o aço, alumínio e concreto.

Na interligação dos circuitos eletrônicos e da fiação é frequentemente utilizado o chumbo, que também está presente em algumas pastas para impressão, além de revestir algumas tiras de cobre. Pequenas quantidades de prata e alumínio são usadas para fazer os contatos elétricos da célula. Estes impactos, no entanto, são muito pequenos.

Além dos impactos envolvidos diretamente com os painéis, há ainda o principal impacto, que é a ocupação do solo. Grandes quantidades de vegetação são retiradas para a colocação dos painéis, juntamente com o meio biótico presente na região de instalação das usinas. Além disso, a erosão do solo e a salinização são formas de impacto e degradação para os solos. A qualidade do solo pode ser alterada pela interferência de alguns aspectos: vegetação, relevo/topografia, permeabilidade e localização de zona saturada, (DERÍSIO, 2000). Dessa maneira, a instalação da usina de geração fotovoltaica gerará essa mudança na qualidade do solo.

A área ocupada pela usina fotovoltaica é maior do que apenas a área dos módulos constituintes. São ocupadas maiores áreas em função da necessidade de caminhos para a manutenção e para evitar que ocorra o sombreamento de um módulo no outro. Há também, em alguns empreendimentos a necessidade de se alinhar o terreno, tornando-o mais plano e levantar cercas ao redor da área da usina para garantir a segurança. Todas essas alterações ocasionam mudanças no ciclo natural da região, bem como mudança o isolamento da área, impedindo a circulação de alguns animais.

3.6. Impactos no Descomissionamento

Uma análise dos impactos no descomissionamento se torna uma tarefa difícil de alcançar a completude, uma vez que a experiência em desmontagens de sistemas de geração fotovoltaica é muito pequena. Isso se deve pelo fato de os módulos possuírem uma vida útil muito longa, de 25 a 30 anos e grande parte destes instalados atualmente não terem alcançado esse prazo ainda.

Apesar dessa falta de experiência, há o entendimento de que os impactos no descomissionamento podem ser grandes, dependendo da tecnologia, (MCMONAGLE - 2006). A parte eletrônica, tais como os circuitos e os inversores, são responsáveis por grande parte dos impactos ambientais, podendo conter materiais tais como chumbo, retardadores de chamas bromados e cromo hexavalente, (SVTC, 2009; FTHENAKIS, 2003). Há também a grande quantidade de vidro, (EPIA/GREENPEACE INTERNATIONAL, 2006).

Além desses materiais, comuns a todos os tipos de células fotovoltaicas, há ainda a presença de alguns materiais que variarão em função da tecnologia empregada. Algumas possuem a presença de materiais raros, valiosos e altamente poluentes, como Telúrio, Índium e gálio. Outras, como CdTe, CIS e CIGS possuem cádmio, que é altamente tóxico para o meio ambiente e para a saúde humana. As tecnologias CIS e CIGS PV também contêm selênio, substância que pode se acumular na cadeia alimentar ou até mesmo formar seleneto de hidrogênio, que é altamente tóxico e cancerígeno, (SVTC, 2009).

3.7. Impactos no Meio Social e Econômico

Fazendo uma consideração sobre todo o processo de fabricação, implantação e descomissionamento, há sempre os impactos no ambiente social e econômico das regiões envolvidas em cada um dos empreendimentos. Há influência no custo de vida, no número de empregos, no nível do conhecimento técnico da região, na arrecadação de impostos e na qualidade de vida geral.

A implantação das fábricas de módulos e das usinas de geração fotovoltaicas gera o deslocamento populacional para as oportunidades e necessidades geradas pelas atividades, o que altera o mercado de bens e serviços da região. Essa mudança,

com o aumento do consumo causará conseqüentemente uma inflação local, aumentando o custo de vida de forma geral.

O aumento no consumo não ocorrerá apenas para bens e serviços populacionais. A aquisição de produtos para abastecer a montagem e funcionamento das fábricas e usina, leva ao aumento do comércio local, desenvolvendo fornecedores locais, que serão priorizados pelo empreendedor, bem como a contratação de mão de obra para implantação, operação e manutenção das empresas. Isso tudo causará o aumento das arrecadações tributárias, fato que proporcionará maior disponibilidade de renda às administrações locais.

A mão de obra exigida será cada vez mais qualificada e especializada nas tecnologias envolvidas, causando também o desenvolvimento técnico e intelectual da população local, mesmo que para isso tenha que buscá-la em outra localidade.

Outra influência exercida pelo empreendimento fotovoltaico diz respeito à organização e ocupação das regiões vizinhas à área de implantação dos painéis fotovoltaicos. Como a tecnologia funciona com a conversão da luz solar, não pode haver grandes empreendimentos ao lado, ou seja, não pode haver o sombreamento dos painéis. Essa situação impactará de duas maneiras os empreendimentos. Ou as autoridades regulamentam a ocupação nas proximidades das usinas, ou as usinas terão de ocupar áreas maiores para garantir que não ocorram construções ou intervenções que possam causar sombreamento.

Além dos impactos sociais e econômicos diretos, novos empreendimentos sempre trazem consigo toda cadeia relacionada com a atividade fim. Por exemplo, a implantação da usina de geração traz, para viabilizar o funcionamento, empresas de projeto, construção, conexão, operação, manutenção, análises, diagnósticos e pesquisas.

Todas essas novas atividades trazem, por outro lado, gastos com a saúde e o bem estar dos trabalhadores. Esses gastos são advindos do aumento do risco de ocorrência de acidentes de trabalho e das doenças relacionadas ao trabalho. Os órgãos públicos da administração local terão de arcar e investir na área da saúde em função da piora destes indicadores.

3.8. Considerações Finais do Capítulo

O capítulo 3 demonstrou a necessidade de se considerar os impactos ambientais em todo o ciclo da tecnologia de geração fotovoltaica para realizar a uma análise mais correta do seu potencial e sua sustentabilidade. Foram apresentados os principais impactos ambientais presentes no ciclo de vida da geração de energia através dos sistemas fotovoltaicos, considerando cada etapa individualmente. No próximo capítulo é apresentada a gestão jurídica do meio ambiente no Brasil. O direito brasileiro é descrito, referenciando e localizando o direito ambiental em toda estrutura. Também é apresentada regulação jurídica nos estados e nos municípios.

4. ARCABOUÇO JURÍDICO

O Direito pode ser definido como sendo o conjunto de regras obrigatórias que garantem a convivência social graças ao estabelecimento de limites à ação de cada um dos seus membros. É um fato ou fenômeno social, uma vez que há relações intersubjetivas. Não é concebível admitir que exista sociedade sem um mínimo de ordem, de direção, de solidariedade e garantia jurídica. “O Direito se caracteriza por sua estrutura tridimensional na qual fatos e valores dialetizam, ou seja, obedecem a um processo dinâmico” (REALE 2005, p.67).

Direito se pauta em um tridimensionalismo de elementos: Fato, o Valor e a Norma. Essa teoria foi criada por Miguel Reale (2005), que pressupõe que fato, valor e norma estão sempre presentes e correlacionados em qualquer expressão da vida jurídica. O Direito tem que ser visto como ferramenta para alcançar soluções práticas e justas à sociedade, trazendo segurança às relações sociais. Assim, o direito pode ser considerado como uma consequência social aonde as a normatização e as regulamentações jurídicas são reflexos do que é a sociedade.

“A norma jurídica é meio essencial de expressão do direito. É certo que o direito não se esgota na norma, mas ela tem importância central na regulação dos comportamentos sociais” (JUNIOR, 2008, p. 11).

4.1. Direito Brasileiro

O Brasil tem como origem do seu ordenamento jurídico na tradição romano-germânica ou civilista. A organização legal da sociedade se dá por um direito único, sendo necessária a consideração como unidade, formado pelo mesmo valor e ideal social. Um estudo mais aprofundado seria necessário para apresentar as divisões do direito e suas competências. Como não é objetivo deste trabalho aprofundar no estudo jurídico, didaticamente, com a finalidade de possibilitar uma visão mais geral do direito e as influências no direito ambiental, pode ser enxergado por dois grandes grupos: o Direito Público e o Privado. Essa divisão, no entanto, perde espaço para as necessidades coletivas, pois algumas áreas não são bem caracterizadas nem pelo direito Público, nem Privado. Surge aí a necessidade de se propor mais outra classe, ou interpretação para os direitos com o interesse difuso. É o direito Difuso.

O Direito Público envolve a organização do Estado, em que são estabelecidas normas de ordem pública, que não podem ser mudadas pela vontade das partes. Envolve tanto o conjunto de normas jurídicas que regulam a relação entre o particular e o Estado, como o conjunto de todas as normas jurídicas que regulamentam as atividades, as funções e organizações de poderes do Estado e seus servidores. Há o predomínio do interesse público.

O Direito Privado diz respeito ao interesse dos particulares, às normas contratuais que são estabelecidas pelos particulares, decorrentes da manifestação de vontade dos interessados. Predomínio do interesse particular.

Já o Direito Difuso ou de terceira geração abarca todos aqueles direitos em que não é possível identificar o autor, compreendendo os direitos indivisíveis. Os interesses defendidos não se encaixam nem nas categorias do direito Público nem do Privado. São os direitos transindividuais em que os titulares são pessoas ligadas por circunstâncias de fato, mas sem ser determinados. A proteção aqui pretendida cabe a toda coletividade e a cada um dos membros. A satisfação de um indivíduo implica na satisfação de todos. A transindividualidade se explica pelo fato dos direitos e obrigações ultrapassam o indivíduo. A indivisibilidade se caracteriza por não poder separa-lo. O objeto tratado pertence a todos, mas ninguém em específico ao mesmo tempo. Possuem titulares indeterminados e interligados por circunstâncias de fato, porque não temos como precisar quais são os indivíduos afetados por ele, (FIORILLO, 2007, p. 6-7).

4.2. Hierarquia Normativa

Todo e qualquer ramo do direito possui uma hierarquização normativa, onde uma norma inferior não pode contrariar uma norma superior, sob pena de ser inválida e inexecutável. No Direito Ambiental o mesmo ocorre seguindo a seguinte hierarquia:

- 1) Constituição Federal (CF);
- 2) Leis complementares;
- 3) Leis Ordinárias;
- 4) Medidas Provisórias;
- 5) Atos Normativos (Regulamentos, Decretos, Portarias, Resoluções e Deliberações).

A Constituição Federal de 1988 (CF/88) é a mais importante das normas e estaria situada no vértice de todo o sistema legal, servindo como fundamento de validade das demais disposições legais, as quais devem respeitar o conteúdo constitucional. Nela estão esculpidos todos os princípios básicos da nação, (DINIZ, 2008). Sob a perspectiva ambiental, é o Art. 225 da CF/88 que define as regras e diretrizes fundamentais que direcionam a aplicação e criação de todo o conjunto da legislação ambiental brasileira.

As Leis Complementares possuem um caráter de complementaridade à CF/88. É prevista na própria constituição as possibilidades de seu uso e tem finalidade de esclarecer, detalhar e garantir aplicabilidade prática da Constituição.

As Leis Ordinárias podem tratar de qualquer assunto que não exija Lei Complementar. Grande parte do Direito Ambiental manifesta-se por Leis Ordinárias (federais, estaduais e municipais), e uma delas é a importante Lei Ordinária Federal nº 6.938/81 que institui a Política Nacional do Meio Ambiente.

Medidas Provisórias são de competência do Presidente da República e tem caráter excepcional de urgência e relevância a serem atendidos para sua edição (BRASIL, Art. 62 da Constituição Federal de 1988). Têm força de lei e possuem a mesma posição e importância hierárquica das Leis Ordinárias.

Os atos normativos, apesar de não ocuparem uma posição de destaque na hierarquia normativa, possuem força de lei e devem estar condizentes com toda a estrutura normativa. Eles produzem efeitos legais na forma de Decretos, Resoluções, Portarias e Instruções, muito utilizadas para regulamentar as questões ambientais. As principais formas de expressão quanto ao conteúdo ambiental, são os Decretos. Um exemplo que podemos citar é o Decreto Lei Federal nº 9.605/98 que regulamenta a Lei de Crimes Ambientais.

4.3. O Direito Ambiental

4.3.1. O direito ambiental no Brasil

Em função da evolução do direito brasileiro e da sociedade houve a necessidade de se regular direitos que não se enquadram nem na descrição de direito público, nem de direito privado, surgindo assim uma terceira geração de direitos. Houve a quebra

da divisão clássica do direito de tradição civilista, incluindo-se nesta nova geração direitos como o do consumidor e o próprio ambiental. Caracterizam-se pela coletividade da titularidade e complexidade do bem protegido e das intervenções estatais — por meio de regulação — em áreas antes estritamente privadas. Com isso, novas formas de tutela e proteção dos interesses e direitos que já não mais são individualizados, passam a exigir uma reestruturação da teoria clássica do direito, abrindo espaço para novas disciplinas jurídicas, dentre elas, o direito ambiental, (SAMPAIO, 2011).

O Direito Difuso, segundo o TJDFT (2015) “refere-se aos direitos indivisíveis, àqueles em que não é possível identificar o autor. Assim, a satisfação de um sujeito implica a satisfação de todos. Como exemplo, pode-se citar o direito à paz pública, à segurança pública, ao meio ambiente.”

A CF/88, no seu artigo 225:

Art.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, 1988).

A utilização da “bem de uso comum do povo”, coloca o meio ambiente ecologicamente equilibrado pertencente a todos como coletividade, não sendo possível a sua individualização. Da mesma forma, a Lei nº 6.938/81, em seu art. 2º, inciso I denota:

I - ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico, considerando o meio ambiente como um patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo (BRASIL, 1981);

Dessa forma, o Direito Ambiental pode ser enquadrado como Direito Difuso, devendo atender ao interesse de todos os cidadãos e não a uma ou outra pessoa ou conjunto de pessoas determinadas. Além disso, o Direito Ambiental na sua estruturação busca elementos em todos os ramos do Direito, não se fechando em si mesmo. Ele trata de uma matéria interdisciplinar que trabalha as normas jurídicas dos vários ramos do direito, havendo, por exemplo, a intervenção do Direito

Constitucional, do Direito Tributário, do Direito Civil, do Direito Processual Civil, do Direito Penal e do Direito Processual Penal.

O Direito Ambiental possui princípios próprios, diferindo daqueles que são normalmente os pilares dos demais ramos do direito. São eles:

Princípio do Direito Humano Fundamental
Princípio Democrático
Princípio da Prevenção
Princípio da Responsabilidade
Princípios do Usuário Pagador e do Poluidor Pagador
Princípio do Equilíbrio
Princípio do Limite (INEPRO, 2004):

No Brasil, a CF/88, como lei maior, possui papel muito relevante no que tange ao Direito Ambiental. Ela, além de prever no Artigo 225, conforme relatado acima, a garantia de um meio ambiente equilibrado para todos, relata em outros artigos sobre os deveres do Poder Público e da sociedade com relação ao meio ambiente. A CF/88 divide também a responsabilidade de controle e fiscalização com os Estados e Municípios, sem, deixar claro o âmbito detalhado de atuação, requisitando norma complementar. Além disso, o legislador também dedicou normas voltadas para a proteção ambiental, definindo as regras para preservação e proteção dos recursos naturais.

Antes da CF/88, várias outras normas versaram sobre a proteção do meio ambiente, pode-se citar o Código Florestal (Lei 4.771 de 15 de setembro de 1965, revogada pela Lei nº 12.651/12), o Código de Águas (Decreto 24.643 de 10 de julho de 1934), o Código de Minas (Decreto-lei 1.985 de 29 de janeiro de 1940), o Estatuto da Terra (Lei 4.504 de 30 de novembro de 1964), Lei de Proteção à Fauna (Lei 5.197 de 03 de janeiro de 1967), o Código de Pesca (Decreto-lei 221 de 28 de fevereiro de 1967), dentre vários outros.

Essas normas, no entanto, eram o embrião da legislação ambiental no Brasil. Foi apenas a partir da década de 1980 que a legislação ambiental brasileira tornou-se, de fato, mais robusta. (MILARÉ, 2004). As principais normas que orientam o Direito Ambiental atualmente são: Lei Federal Lei nº 6.938/81 de 31 de agosto de 1981 (Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de

formulação e aplicação, e dá outras providências.), Lei Federal 7.347 de 24 de julho de 1985 (Disciplina a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio-ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico e dá outras providências.), CF/88 (Elevou o meio ambiente sadio ao patamar de direito fundamental) e a Lei Federal 9.605 de 12 de fevereiro de 1998 (Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências), (MILARÉ, 2004).

A Lei nº 6.938/81 consagrou a responsabilidade objetiva para apuração dos danos ambientais. Essa é a mais importante norma ambiental depois da CF/88. Ela é responsável por criar e definir a sistemática das políticas públicas brasileiras para o meio ambiente. Ela definiu conceitos básicos como o de meio ambiente, de degradação e de poluição e determinou os objetivos, diretrizes e instrumentos, além de ter adotado a teoria da responsabilidade (SIRVINSKAS, 2005). Essa lei é responsável pela descrição do Sistema Nacional de Meio Ambiental (SISNAMA).

O SISNAMA congrega os órgãos e entidades da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, bem como as fundações públicas, todos eles responsáveis pela proteção e melhoria da qualidade ambiental. A estruturação dos responsáveis pelo Sistema Nacional de Meio Ambiente se dá da seguinte forma:

- Órgão Superior: O Conselho de Governo

Assessora o Presidente da República na formulação da política nacional e nas diretrizes governamentais;

- Órgão Consultivo e Deliberativo: O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA

Assessora, estuda e propõe ao Conselho do Governo diretrizes e delibera normas e padrões;

- Órgão Central: O Ministério do Meio Ambiente - MMA

Planeja, controla, coordena, supervisiona a implementação da política nacional e as diretrizes governamentais fixadas para o meio ambiente;

- Órgão Executor: O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA

Possui poder de polícia ambiental, atua na área de licenciamento ambiental, fiscaliza e controla a qualidade ambiental;

- Órgãos Seccionais: os órgãos ou entidades estaduais

Responsáveis pela execução de programas, projetos e pelo controle e fiscalização de atividades capazes de provocar a degradação ambiental;

- Órgãos Locais: os órgãos ou entidades municipais

Responsáveis pelo controle e fiscalização dessas atividades, nas suas respectivas jurisdições;

Em 1988, com a CF/88, o tema ambiental foi trazido de forma mais centralizada e geral. Ela recepcionou a lei a Lei nº 6.938/81 e trouxe as obrigações de todos os entes da federação e cidadãos, como no artigo 225, caput (BRASIL, 1988).

A CF/88 ainda traz um capítulo próprio para as questões ambientais. Ao longo de todo o seu corpo legislativo traz também artigos espalhados dispondo dos deveres do Poder Público e da sociedade para com o meio ambiente. Menciona também a repartição das competências entre União, Estados e Municípios de forma a propiciar maior eficiência à defesa do meio ambiente. Podem-se citar os artigos:

Art. 23 - É competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios:

[...]

VI - proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas;

VII - preservar as florestas, fauna e a flora.

Art. 24 - Compete a União, aos Estados e ao Distrito Federal legislar concorrentemente sobre:

[...]

VI - florestas, caça, pesca, fauna, conservação da natureza, defesa do solo e dos recursos naturais, proteção do meio ambiente e controle da poluição;

Parágrafo 1º - no âmbito da legislação concorrente, a competência da União limitar-se-á a estabelecer normas gerais. (BRASIL, 1988)

A lei complementar Nº 140 / 2011 também discorre sobre a competência entre os entes federados. , tendo como fundamento a localização do empreendimento. Ela fixa normas para cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas situações da competência comum no que diz respeito à proteção do meio ambiente.

4.3.2. Legislação e organização ambiental no âmbito estadual

A competência para legislar sobre assuntos ambientais dos Estados se configura de uma forma complementar às normas federais. No Art. 24, § 2º da CF/88 fica claro isso. Dessa forma, a norma estadual não pode contrariar e sim aperfeiçoar uma norma federal. Essa suplementação deve ocorrer somente quando houver a necessidade de aperfeiçoar ou quando for identificada uma lacuna ou imperfeição da norma geral federal. Não pode haver um descumprimento, deturpação ou desvio da norma principal ambiental federal. Além disso, os Estados deverão elaborar suas normas respeitando ao que for estabelecido pelo CONAMA.

Com relação à organização dos Estados, o artigo 23 da CF/88, em concordância com o Artigo 18 “A organização político-administrativa da República Federativa do Brasil compreende a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios, todos autônomos, nos termos desta Constituição” (BRASIL, 1988), possibilita que haja uma autonomia. Não significa desunião dos entes federados. Essa autonomia se refere à possibilidade dos Estados terem sua organização administrativa ambiental diferente do governo federal. As normas gerais federais ambientais não podem ferir a autonomia dos Estados de definirem a sua estrutura administrativa ambiental.

Cada Estado e o Distrito Federal possui sua competência para regulamentar as peculiaridades do seu direito ambiental, e são as Comissões Organizadoras as responsáveis por isso, respeitando os preceitos e princípios estabelecidos no Regulamento Nacional.

Na estruturação do SISNAMA, os Estados se farão presentes através dos Órgãos Seccionais, que conforme o Decreto nº 99274/90 são os órgãos ou entidades estaduais responsáveis pela execução de programas, projetos e pelo controle e fiscalização de atividades capazes de provocar a degradação ambiental. Ex.: Conselho Estadual de Meio Ambiente (COSEMA) e Gerência Adjunta do Meio Ambiente (GAMA).

Em Minas Gerais a organização ambiental é feita através do Sistema Estadual do Meio Ambiente (SISEMA), aonde há uma participação efetiva do governo e da sociedade. A organização é formada por diversos órgãos, que são os seguintes:

- **Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - (SEMAD)**

Este órgão busca o desenvolvimento do Estado de forma sustentável. Ele planeja, propõe e coordena a gestão ambiental integrada. Promove e incentiva o cumprimento das normas de proteção do meio ambiente, além de coordenar e supervisionar ações de proteção ambiental no Sistema Estadual do Meio Ambiente como um todo.

- **Conselho estadual de Política Ambiental (Copam)**

Este órgão é subordinado ao SEMAD, e possui função de criação normativa, deliberando sobre as diretrizes, parâmetros técnicos e políticas a serem seguidas no Estado. Ele busca orientar e organizar medidas de caráter operacional, para garantir a conservação ambiental. O COPAM tem a seguinte estrutura:

O Copam se organiza em câmaras, como se seguem:

- Câmara normativa e recursal
- Câmaras temáticas
 - Câmara de Energia e Mudanças Climáticas;
 - Câmara de Indústria, Mineração e Infraestrutura;
 - Câmara de Atividades Agrossilvopastoris;
 - Câmara de Instrumentos de Gestão Ambiental;
 - Câmara de Proteção à Biodiversidade e de Áreas Protegidas;

Cada uma dessas câmaras apresenta uma competência, atuando de forma a proteger e preservar o meio ambiente, elaborando normas e regulamentando.

- **Conselho estadual Recursos Hídricos (CERH)**

Este conselho possui semelhança com o COPAM, e sua responsabilidade está relacionada à gestão das águas no Estado. A principal função Sua tarefa é propor o Plano Estadual de Recursos Hídricos, definir as regras da cobrança pelo uso da

água e analisar as decisões de cada comitê, além de incentivar a criação dos comitês.

- **Órgãos vinculados**

- **Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM)**

É um órgão que tem como função dar apoio ao COPAM. Objetiva a garantia da qualidade ambiental no Estado, no que corresponde à Agenda Marrom, que seria aquela que conforme definição do IBAMA é:

[...] aquela que se refere às questões ambientais relacionadas à urbanização, a industrialização, ao crescimento econômico e ao desenvolvimento social, tais como a poluição do ar, da água e do solo, a coleta e reciclagem de lixo, o ordenamento urbano, a segurança química, etc. (IBAMA, 2015).

O FEAM desenvolve tecnologias ambientais apoiando tecnicamente o SISEMA, promovendo pesquisas, projetos e programas visando a preservação ambiental.

- **Instituto Estadual de Florestas (IEF)**

É uma autarquia Estadual responsável pela Agenda Verde, que conforme o IBAMA *“Agenda Verde - aquela que se refere à assuntos como preservação de florestas e biodiversidade”* (IBAMA, 2015).

O IEF tem como função o desenvolvimento e a execução das políticas florestal, de pesca, de recursos naturais renováveis e de biodiversidade em Minas Gerais. Realiza a coordenação, desenvolvimento e supervisão da execução de ações e pesquisas relativas à manutenção do equilíbrio ecológico e à proteção da biodiversidade. Incentiva e desenvolve o plantio de árvores e o reflorestamento e propõe a criação e manutenção de áreas de preservação.

O IEF ainda apoia o COPAM, o CERH e o SEMAD na sua área de competência, auxiliando também nos processos de regularização ambiental e de fiscalização,

- **Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) que responde pela Agenda Azul.**

Esse instituto está ligado ao SISNAMA e ao Sistema de Recursos Hídricos no âmbito federal e ao SISEMA e ao Sistema Estadual de Recursos Hídricos (SEGRH) no âmbito estadual.

A principal função desse órgão é o planejamento e ações voltadas para a preservação da qualidade e quantidade das águas de Minas Gerais. Esse controle é feito de forma descentralizada, com o auxílio de diversos segmentos sociais.

4.3.3. Legislação ambiental no âmbito municipal

Analisando a CF/88 no artigo 24, no âmbito do poder de legislar sobre questões ambientais, ela não autoriza os municípios a exercer essa função. O texto da CF/88 não menciona de forma expressa os municípios. No entanto, avaliando de forma mais sistemática, nos seus artigos 23, 30 e 225 pode-se concluir que ela distribuiu essa competência aos municípios respeitando os limites de sua autonomia.

Nos municípios, a competência para legislar se dá da mesma forma que nos Estados, ou seja, se configura de uma forma complementar às normas federais e estaduais, respeitando a hierarquia organizacional adotada no país. As normas municipais devem vir de forma a ampliar ou aperfeiçoar uma norma federal ou estadual. Só ocorrendo quando for realmente necessária. A competência dos Municípios para legislar deve respeitar a hierarquia federativa, ou seja, em matérias na qual o Estado já editou uma norma geral, respeitando as normas federais, as normas municipais devem, da mesma maneira, obedecer tanto as normas federais e estaduais. Essas normas, no entanto, se respeitaram as normas hierarquicamente superiores, não podem ser modificadas por nenhum órgão superior ou seja, não estão sujeitos ao poder revisional ou homologatório dos estados ou da União .

O Município detém competência legislativa privativa em matérias pertinentes a interesses locais e ordenamento territorial (CAVALCANTI, 2012), a teor do disposto no art. 30, da CF/88, verbis :

Art. 30. Compete aos Municípios:

I - legislar sobre assuntos de interesse local;

II - suplementar a legislação federal e a estadual no que couber; (omissis)

VIII - promover, no que couber, adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano. (BRASIL, Constituição Federal de 1988)

A organização político administrativa dos municípios apresenta uma semelhança com a do Estado, havendo uma autonomia do município, não sendo necessário seguir a mesma estrutura do Estado ou da União.

Na estrutura do SISNAMA os municípios participam através dos Órgãos Locais, que são órgãos ou entidades municipais, responsáveis pelo controle e fiscalização ambiental, nas suas respectivas jurisdições.

4.4. Considerações Finais do Capítulo

Neste capítulo foi mostrada a estrutura normativa do direito brasileiro, focando no direito ambiental. O direito foi descrito apresentando a hierarquia normativa e relatando as principais normas que regulam o direito ambiental. No capítulo 5 é feita a relação dos impactos apresentados no capítulo 3 com a regulação das normas apresentadas neste capítulo. É mostrado o licenciamento ambiental brasileiro e o do estado de Minas Gerais. Relata-se o licenciamento ambiental da fabricação e montagem dos painéis fotovoltaicos. Além disso, é apresentado o licenciamento nos EUA e na Alemanha.

5. LICENCIAMENTO AMBIENTAL – RELAÇÃO IMPACTO / LEGISLAÇÃO

Após apresentar os impactos ambientais e a estruturação do direito brasileiro, faz-se agora necessário a correlação dos dois para evidenciar a necessidade de se estruturar a questão ambiental em caso de desenvolvimento de projetos de fabricação de células fotovoltaicas e de usinas de geração de energia usando os painéis fotovoltaicos. É interessante abordar o direito do ponto de vista do licenciamento ambiental das atividades de produção para facilitar os procedimentos de implementação das fábricas no Brasil.

5.1. Licenciamento no Brasil

O licenciamento se configura no principal instrumento estatal de defesa do meio ambiente. É um processo administrativo, por meio do qual o órgão competente decidirá se concede ou não a licença ambiental solicitada, (FIORILLO, 2007).

Todo o processo de licenciamento, seguindo o que determina a Política Nacional de Meio Ambiente, é uma ferramenta de destacada importância para salvaguardar o meio ambiente e os interesses sociais. É através das licenças que a administração pública exerce seu poder e regula as atividades do homem, resguardando a proteção das condições ambientais. O objetivo deste procedimento não deve ser de apenas proteger o meio ambiente, ou punir os possíveis infratores, mas sim o de garantir o desenvolvimento do país de uma forma sustentável. É garantir a competitividade e a atratividade do país a novos investimentos, com o mínimo de degradação. Conforme o MME:

Desta forma, tem, por princípio, a conciliação do desenvolvimento econômico com o uso dos recursos naturais, de modo a assegurar a sustentabilidade dos ecossistemas em suas variabilidades físicas, bióticas, socioculturais e econômicas. Deve, ainda, estar apoiado por outros instrumentos de planejamento de políticas ambientais como a avaliação ambiental estratégica; avaliação ambiental integrada; bem como por outros instrumentos de gestão - zoneamento ecológico econômico, planos de manejo de unidades de conservação, planos de bacia, etc. (MME, 2013)

A lei nº 6938/81 definiu que as atividades que possuem efetiva ou potencial risco de poluição devem ser licenciadas. No seu artigo 10 ela define:

Art. 10. A construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental dependerão de prévio licenciamento ambiental. (BRASIL, 1981)

As diretrizes a serem seguidas para se alcançar essa autorização devem atender às normas hierarquizadas e organizadas conforme apresentado anteriormente na Seção 4, com as leis estaduais completando de forma supletiva as Leis Federais e as Leis Municipais completando também as Normas Federais e Estaduais, nunca contrariando. Sobre essa normatização o TCU define:

As principais diretrizes para a execução do licenciamento ambiental estão expressas na Lei nº 6.938/81 e nas Resoluções CONAMA nº 001/86 e nº 237/97. Além dessas, recentemente foi publicado a Lei Complementar nº 140/11, que discorre sobre a competência estadual e federal para o licenciamento, tendo como fundamento a localização do empreendimento. (TCU, 2007).

Para se iniciar o processo de licenciamento, deve-se definir o órgão ambiental responsável por emitir a licença. Essa definição é fundamental, pois só depois é possível definir a necessidade de licenciamento e os procedimentos para se conseguir cada uma delas.

O complexo normativo brasileiro, em diversos documentos definem as obrigações de cada uma dos órgãos federativos, compartilhando entre os Órgãos Estaduais e Municipais de Meio Ambiente e o IBAMA, como partes integrantes do SISNAMA, além de a própria CF/88 delegar responsabilidade a todos os entes.

O interessado deve solicitar ao órgão ambiental competente para emitir a licença, podendo ser o IBAMA, os Órgãos Estaduais de Meio Ambiente (OEMAs) ou os Órgãos Municipais de Meio Ambiente (OMMAs).

A CF/88 no seu art. 23, incisos III, VI e VII, conforme visto anteriormente define que é competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios proteger o meio ambiente, combater a poluição em qualquer de suas formas e preservar as florestas, a fauna e a flora, ou seja, é obrigação de todos. É a Lei nº 6.938/81 que delimita a competência. Ela determina que a tarefa de licenciar seja,

em regra, dos Estados, cabendo ao IBAMA uma atuação complementar, ou seja, substituir o órgão estadual em sua ausência ou omissão. Portanto, não cabe ao órgão federal rever ou suplementar a licença ambiental concedida pelos Estados.

A lei complementar Nº 140 / 2011 fixa normas para cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas situações da competência comum no que diz respeito à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição e à preservação das florestas, da fauna e da flora.

Ao IBAMA foi dada pela Lei nº 6.938/81, alteradas pela lei 7.804/90, competência originária para licenciar, definindo para o IBAMA o licenciamento de atividades e obras com significativo impacto ambiental, de âmbito nacional ou regional. De forma completiva, a Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997, procurou definir o conceito de impacto ambiental regional como sendo todo e qualquer impacto ambiental que afete diretamente, no todo ou em parte, o território de dois ou mais Estados. A resolução enquadra nessa situação os empreendimentos:

Art. 4º - Compete ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, órgão executor do SISNAMA, o licenciamento ambiental, a que se refere o artigo 10 da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, de empreendimentos e atividades com significativo impacto ambiental de âmbito nacional ou regional, a saber:

I - localizadas ou desenvolvidas conjuntamente no Brasil e em país limítrofe; no mar territorial; na plataforma continental; na zona econômica exclusiva; em terras indígenas ou em unidades de conservação do domínio da União.

II - localizadas ou desenvolvidas em dois ou mais Estados;

III - cujos impactos ambientais diretos ultrapassem os limites territoriais do País ou de um ou mais Estados;

IV - destinados a pesquisar, lavrar, produzir, beneficiar, transportar, armazenar e dispor material radioativo, em qualquer estágio, ou que utilizem energia nuclear em qualquer de suas formas e aplicações, mediante parecer da Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN;

V- bases ou empreendimentos militares, quando couber, observada a legislação específica. (BRASIL, 1997)

Além dessas competências originárias, o IBAMA possui uma função supletiva, definida pela Lei nº 6.938/81, em seu artigo 10, que elenca como situações necessárias de atuação do IBAMA as seguintes:

- a) por mandato judicial;
- b) por decisão do CONAMA;
- c) por solicitação do órgão ambiental competente;
- d) por descumprimento, pelo órgão ambiental competente, dos prazos estipulados nos artigos 14 e 15 da Resolução CONAMA nº 237/97.
- e) Por diploma legal específico (BRASIL, 1981).

A Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997 relaciona também as situações em que a competência pelo licenciamento recai sobre os órgãos estaduais e distrital. São de sua responsabilidade os empreendimentos e atividades:

Art. 5º - Compete ao órgão ambiental estadual ou do Distrito Federal o licenciamento ambiental dos empreendimentos e atividades:

I - localizados ou desenvolvidos em mais de um Município ou em unidades de conservação de domínio estadual ou do Distrito Federal;

II - localizados ou desenvolvidos nas florestas e demais formas de vegetação natural de preservação permanente relacionadas no artigo 2º da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e em todas as que assim forem consideradas por normas federais, estaduais ou municipais;

III - cujos impactos ambientais diretos ultrapassem os limites territoriais de um ou mais Municípios;

IV – delegados pela União aos Estados ou ao Distrito Federal, por instrumento legal ou convênio. (BRASIL, 1997).

A mesma Resolução no art.10, §1º define que:

Art. 10 - O procedimento de licenciamento ambiental obedecerá às seguintes etapas:

[...]

§ 1º - No procedimento de licenciamento ambiental deverá constar, obrigatoriamente, a certidão da Prefeitura Municipal, declarando que o local

e o tipo de empreendimento ou atividade estão em conformidade com a legislação aplicável ao uso e ocupação do solo e, quando for o caso, a autorização para supressão de vegetação e a outorga para o uso da água, emitidas pelos órgãos competentes. (BRASIL, 1997).

Aos órgãos ambientais municipais, dessa forma, após consulta aos órgãos competentes da União, dos Estados e do Distrito Federal, será responsável pelo licenciamento ambiental dos empreendimentos e atividades de impacto ambiental local e daqueles sobre os quais houve delegação pelo estado por instrumento legal ou convênio.

A base para o legislador repartir a competência para o licenciamento ambiental, conforme denota o parecer 312 CONJUR/MMA 2004 foi o impacto ambiental e dessa forma:

Tal repartição de atribuições restou fundada na “predominância do interesse” com base nos impactos ambientais da atividade ou empreendimento. [...] Portanto, o instituto do licenciamento vincula-se ao interesse público e não à titularidade do bem (CONJUR/MMA, 2004).

Não cabe, no entanto, falar em licenciamento por mais de um órgão. Os empreendimentos e atividades são licenciados em um único nível de competência. Havendo o licenciamento em um nível, não haverá licenciamento ambiental em nenhum outro órgão no âmbito do SISNAMA, mas apenas consultas.

Definido o responsável, este será responsável por regular todos os procedimentos, inclusive definindo a necessidade ou não da licença. O artigo 2º, no parágrafo segundo da Resolução normativa CONAMA 237/97 define:

Art. 2º- A localização, construção, instalação, ampliação, modificação e operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, bem como os empreendimentos capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento do órgão ambiental competente, sem prejuízo de outras licenças legalmente exigíveis.

[...]

§ 2º – Caberá ao órgão ambiental competente definir os critérios de exigibilidade, o detalhamento e a complementação do Anexo 1, levando em

consideração as especificidades, os riscos ambientais, o porte e outras características do empreendimento ou atividade (BRASIL, 1997)

Nas normas, a necessidade de licenciamento para algumas atividades não é bem esclarecida. Os conceitos de poluição e degradação trazem termos abstratos que deixam abertura para a determinação da necessidade, ou não, de licenciamento. O TCU afirma:

A definição legal do termo poluição é a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades humanas. O termo degradação é traduzido pela legislação como a alteração adversa das características do meio ambiente. Considerando que não há como fixar, de forma definitiva, as atividades que causam degradação ou mesmo o grau de alteração adversa ocasionado, caberá consulta ao órgão ambiental para determinar se o empreendimento necessita de licenciamento (TCU, 2007).

No entanto, há na legislação uma lista de atividades que já são pré-definidas que precisam do licenciamento. Elas são elencadas no Anexo I da Resolução CONAMA n° 237/97.

Quando há a identificação pelo órgão de que a atividade a ser analisada não possui grandes impactos ele pode definir outros estudos a serem feitos, sem seguir o processo regular. Essa previsão é feita no parágrafo único do artigo terceiro da resolução 237/97.

Art. 3º- A licença ambiental para empreendimentos e atividades consideradas efetiva ou potencialmente causadoras de significativa degradação do meio dependerá de prévio estudo de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto sobre o meio ambiente (EIA/RIMA), ao qual dar-se-á publicidade, garantida a realização de audiências públicas, quando couber, de acordo com a regulamentação.

Parágrafo único. O órgão ambiental competente, verificando que a atividade ou empreendimento não é potencialmente causador de significativa degradação do meio ambiente, definirá os estudos ambientais pertinentes ao respectivo processo de licenciamento. (BRASIL, 1997)

O processo de licenciamento ambiental se divide em várias etapas. Para cada uma delas é necessária a licença adequada. Uma para o planejamento do

empreendimento ou da atividade, a licença prévia. Outra para a construção e obra, a licença de instalação. E, por fim, uma para a operação ou funcionamento, a licença de operação.

As licenças ambientais estão estabelecidas no Decreto nº 99.274/90, que regulamenta a Lei nº 6.938/81, e detalhadas na Resolução CONAMA nº 237/97, são:

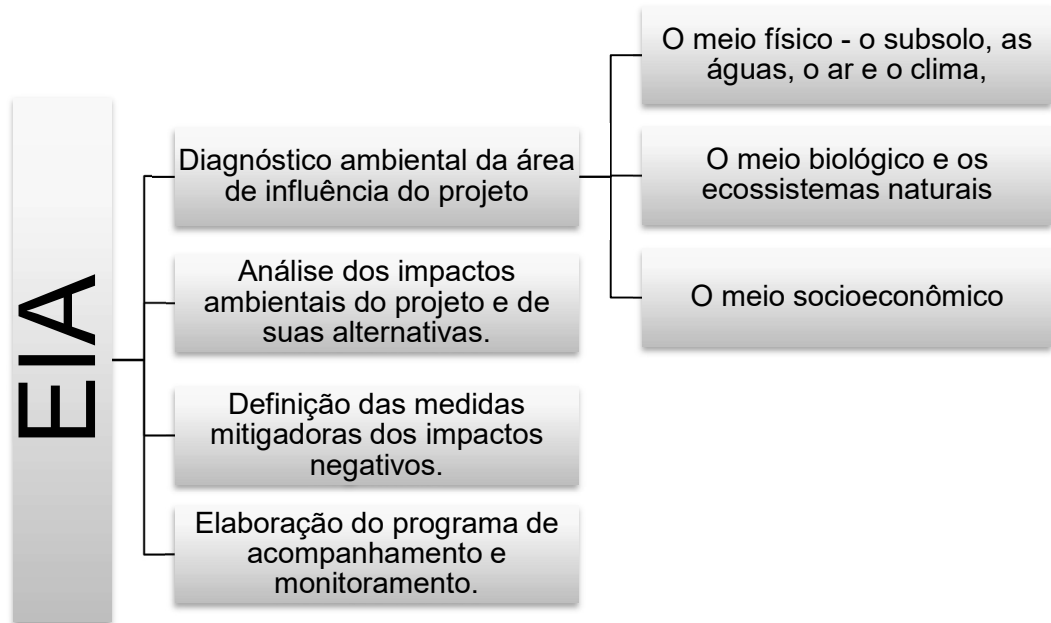
- *Licença prévia*

Essa licença tem por objetivo iniciar o processo e aprovar com o órgão ambiental o projeto. Ela deve ser solicitada na fase inicial, de planejamento e concepção de um novo empreendimento ou atividade. O pedido deve conter os requisitos básicos a serem atendidos nas fases de localização, instalação e operação, observados os planos municipais, estaduais ou federais de uso do solo.

A licença prévia (LP) estabelece as condições para a viabilidade ambiental do empreendimento ou atividade, após exame dos impactos ambientais por ele gerados, dos programas de redução e mitigação de impactos negativos e de maximização dos impactos positivos, permitindo, assim, que o local ou trajeto escolhido como de maior viabilidade tenha seus estudos e projetos detalhados.

Em projetos de significativo impacto ambiental o interessado deverá fazer um Estudo de Impacto Ambiental - EIA e correspondente Relatório de Impacto ao Meio Ambiente – RIMA. A apresentação destes é condicionante para obtenção da licença prévia. Estes instrumentos foram normalizados pela Resolução CONAMA nº 001 de 23 de janeiro de 1986, complementarmente, pela Resolução CONAMA nº 237 de 19 de dezembro de 1997. A concessão da licença prévia passará pela aprovação destes documentos. Eles deverão conter no mínimo:

Figura 18 – Conteúdo Mínimo EIA



Fonte: Resolução nº 001/86

Figura 19 – Conteúdo Mínimo RIMA



Fonte: Resolução nº 001/86

O RIMA deve ser publicado em jornal de grande circulação e no diário oficial para que possam ser realizadas audiências públicas, quando couber, de acordo com a regulamentação.

- *Licença de instalação*

O processo de obtenção dessa licença inicia-se na sequência da licença prévia. A função principal é autorizar a instalação do empreendimento. Para isso analisa o projeto executivo, os planos, programas, especificações e as ações para atender às condicionantes da Licença Prévia. Os documentos apresentados deverão conter os processos e tecnologias que serão implementadas para neutralizar ou diminuir os impactos ambientais, além das ações para compensar os impactos que não serão evitados e para realizar a monitoração ambiental. Todas essas medidas compõem o Plano de Controle Ambiental (PCA).

A licença de instalação (LI) precede os procedimentos de efetivo início de implantação da atividade ou empreendimento e o seu fornecimento está condicionado à aprovação de toda a documentação.

- *Licença de Operação*

Após a finalização das obras para a montagem do empreendimento, o seu funcionamento está condicionado à aprovação da licença de operação (LO). É necessária a verificação do funcionamento dos equipamentos de controle de poluição e do atendimento das condicionantes constantes nas Licenças Prévia e de Instalação.

Sua concessão está condicionada à uma vistoria realizada pelo órgão responsável pelo licenciamento, para se verificar o atendimento das exigências e detalhes técnicos descritos no projeto aprovado que foram desenvolvidos e atendidos ao longo de sua instalação e se estão de acordo com o previsto nas LP e LI.

Os prazos de validade das licenças determinados pela Resolução CONAMA 237/97 são os seguintes:

Tabela 2 - Prazos das licenças ambientais

TIPO DE LICENÇA	PRAZO
Prévia	Máximo de 5 anos
Instalação	Máximo de 6 anos
Operação	Mínimo de 4 anos e Máximo de 10 Anos

Fonte: Resolução CONAMA 237/97

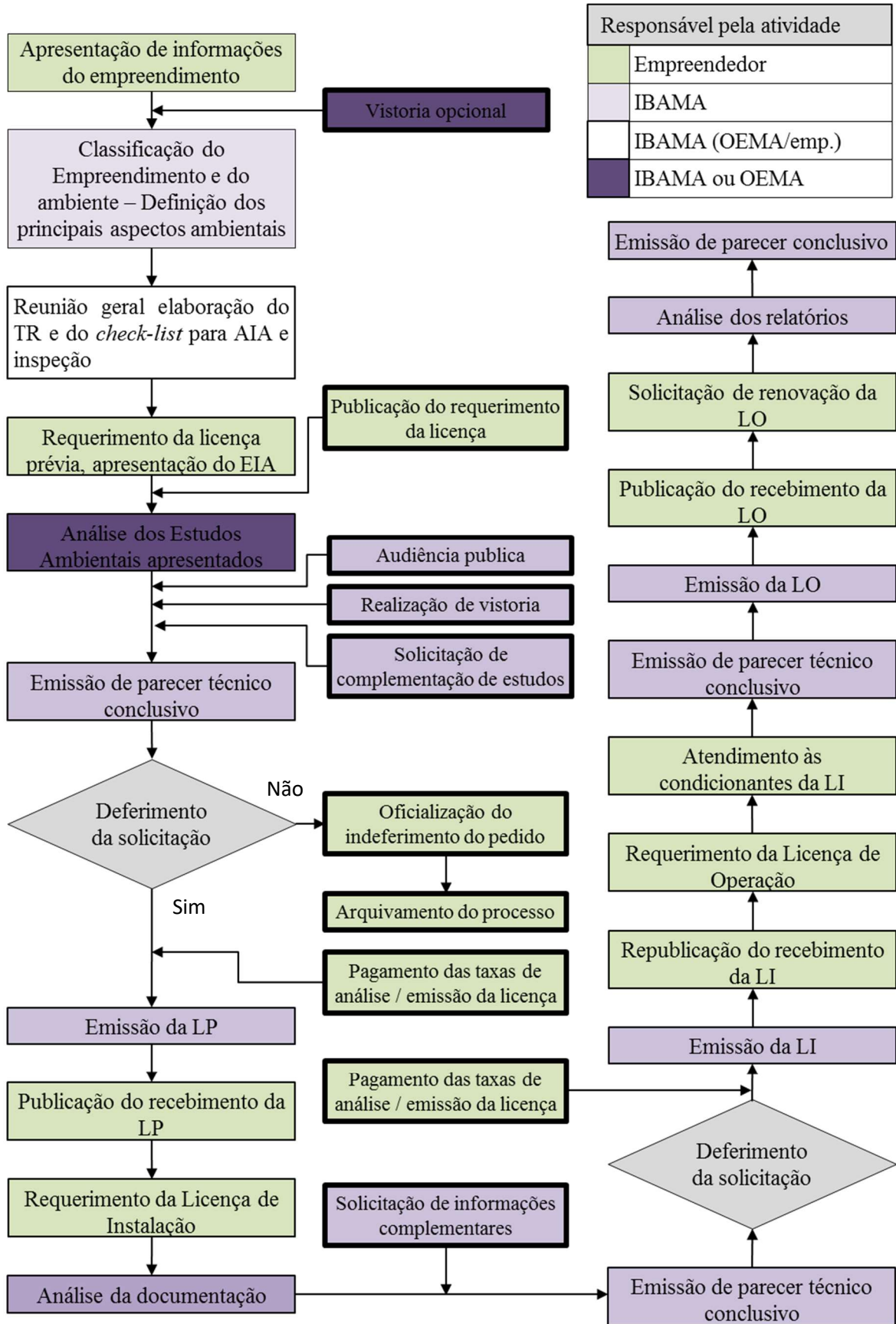
Os prazos definidos pela resolução são limites, cabendo ao órgão ambiental estabelecer a validade de cada tipo em função das condições encontradas nos pedidos. Na Licença Prévia (LP) deverá ser estabelecido pelo cronograma de elaboração dos planos, programas e projetos relativos ao empreendimento ou atividade. Na Licença de Instalação (LI) deverá ser estabelecido pelo cronograma de instalação do empreendimento ou atividade. Na Licença de Operação (LO) deverá considerar os planos de controle ambiental.

A análise por parte dos órgãos ambientais dos pedidos das licenças nas três modalidades também devem respeitar prazos máximos. O artigo 14 da resolução CONAMA 237/97 denota:

Art. 14 - O órgão ambiental competente poderá estabelecer prazos de análise diferenciados para cada modalidade de licença (LP, LI e LO), em função das peculiaridades da atividade ou empreendimento, bem como para a formulação de exigências complementares, desde que observado o prazo máximo de 6 (seis) meses a contar do ato de protocolar o requerimento até seu deferimento ou indeferimento, ressalvados os casos em que houver EIA/RIMA e/ou audiência pública, quando o prazo será de até 12 (doze) meses. (BRASIL, 1997)

O procedimento de licenciamento ambiental obedecerá às etapas descritas na figura 20:

Figura 20 – Fluxo do Licenciamento Ambiental no Brasil –



Responsável pela atividade	
	Empreendedor
	IBAMA
	IBAMA (OEMA/emp.)
	IBAMA ou OEMA

Fonte: Criado a partir de: Brandt, W. et al., 2001

Quando o empreendimento apresenta impactos ambientais de pequeno porte o processo de licenciamento pode ser caracterizado e considerado através do processo simplificado, conforme denota a Resolução CONAMA n°279 de 27 de junho de 2001.

Art. 1° - Os procedimentos e prazos estabelecidos nesta Resolução, aplicam-se, em qualquer nível de competência, ao licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental, aí incluídos:

I - Usinas hidrelétricas e sistemas associados;

II - Usinas termelétricas e sistemas associados;

III - Sistemas de transmissão de energia elétrica (linhas de transmissão e subestações).

IV - Usinas Eólicas e outras fontes alternativas de energia (BRASIL, 2001).

Fica claro, dessa maneira, que os procedimentos estabelecidos pela resolução se estendem a todos os entes responsáveis pelo licenciamento dentro da federação.

O processo de licenciamento de instalação e funcionamento das usinas fotovoltaicas, seguindo o processo simplificado, inicia da mesma forma que o processo normal de licenciamento, com a identificação do órgão competente para emitir as licenças. O responsável técnico pelo licenciamento e o responsável principal pelo empreendimento deverão elaborar uma declaração de que o empreendimento se enquadra no procedimento simplificado e providenciar a solicitação da licença prévia.

A solicitação da licença prévia deve ser precedida, ou acompanhada pelo Relatório Ambiental Simplificado (RAS), que conforme define a Resolução CONAMA n°279 de 27 de junho de 2001:

Art. 2o Para os fins desta Resolução, são adotadas as seguintes definições:

I - Relatório Ambiental Simplificado RAS: os estudos relativos aos aspectos ambientais relacionados à localização, instalação, operação e ampliação de uma atividade ou empreendimento, apresentados como subsídio para a concessão da licença prévia requerida, que conterà, dentre outras, as

informações relativas ao diagnóstico ambiental da região de inserção do empreendimento, sua caracterização, a identificação dos impactos ambientais e das medidas de controle, de mitigação e de compensação. (BRASIL, 2001).

O RAS deve conter no mínimo a recomendação do anexo I da resolução:

Figura 21 – Conteúdo mínimo do RAS



Fonte: Criado a partir de: Resolução CONAMA 279/01

Junto com o RAS o solicitante deverá providenciar o registro na Agência Nacional de Energia - ANEEL, e as manifestações cabíveis dos órgãos envolvidos.

Além dessa documentação, a licença prévia poderá depender da “outorga de direito dos recursos hídricos ou da reserva de disponibilidade hídrica”, (BRASIL, Resolução CONAMA nº279 de 27 de junho de 2001, 2001), dependendo do local de instalação.

De posse de todos os documentos, o órgão ao qual foi solicitada licença prévia definirá se há o enquadramento do empreendimento tanto no que diz respeito à competência quanto ao processo simplificado. A resolução nº279 de 27 de junho de 2001 denota:

Art. 4o O órgão ambiental competente definirá, com base no Relatório Ambiental Simplificado, o enquadramento do empreendimento elétrico no procedimento de licenciamento ambiental simplificado, mediante decisão fundamentada em parecer técnico (BRASIL, 2001).

Se o empreendimento não se enquadrar ele deverá seguir todo o processo não simplificado. Se o licenciamento não for competência do órgão em questão, o empreendedor deverá recorrer ao órgão correto e iniciar todo o processo novamente. A vantagem do processo simplificado é o resultado da análise é dado em até dez dias úteis.

Após a emissão da licença prévia, o próximo passo é a licença de instalação. Essa deverá ser requerida ao mesmo órgão ambiental que emitiu a licença prévia. O interessado deverá apresentar todas as condicionantes da Licença Prévia atendidas, prestar esclarecimentos às informações solicitadas pelo órgão e o Relatório de Detalhamento dos Programas Ambientais. Esse relatório é definido como:

Relatório de Detalhamento dos Programas Ambientais: é o documento que apresenta, detalhadamente, todas as medidas mitigatórias e compensatórias e os programas ambientais propostos no RAS. (BRASIL, Resolução CONAMA nº279 de 27 de junho de 2001, 2001)

A norma que rege o licenciamento simplificado exige que haja comprovação da Declaração de Utilidade Pública do empreendimento, no entanto, por se tratar de empreendimento para geração de energia, essa comprovação não é necessária.

A maior vantagem desse processo simplificado se faz no prazo para a emissão das licenças. Conforme a Resolução:

Art. 6° - O prazo para emissão da Licença Prévia e da Licença de Instalação será de, no máximo, sessenta dias, contados a partir da data de protocolização do requerimento das respectivas licenças. (BRASIL, Resolução CONAMA nº279 de 27 de junho de 2001, 2001).

Esse prazo, no entanto, pode se estender em função da necessidade do órgão responsável necessitar de maiores esclarecimentos. Se houver, por exemplo, a determinação que estudos complementares sejam feitos, mediante justificativas técnicas, a contagem do prazo será suspensa até que os estudos sejam concluídos e entregues. Essa suspensão poderá se dar por até sessenta dias. Não sendo possível a conclusão do trabalho o empreendedor poderá solicitar, através de boa fundamentação, a prorrogação da sua entrega. Se não houver a entrega, pelo empreendedor, dos esclarecimentos solicitados pelo órgão competente pelo licenciamento, todo o procedimento é cancelado.

A posse da licença de instalação gera a obrigação por parte do empreendedor de se ater ao planejamento e cronograma apresentado na solicitação da licença prévia. O não cumprimento do prazo para o início da implementação do empreendimento fará com que a licença de instalação perca sua eficácia. Poderá o interessado solicitar a prorrogação do prazo para início desde que haja justificativa.

Durante a implantação dos sistemas constantes do investimento, o investidor deverá providenciar a licença de operação. Essas só serão emitidas após o cumprimento das condicionantes solicitadas pelo órgão ambiental competente na Licença de Instalação. O prazo máximo para a sua emissão é de 60 dias após o seu requerimento, no entanto, todas as condicionantes devem ser atendidas antes da entrada em operação do empreendimento. Pode-se inclusive solicitar testes para a verificação do atendimento.

Mesmo estando a cargo do órgão ambiental responsável pelo licenciamento a responsabilidade de expor todas as condicionantes e exigências para o licenciamento o empreendedor possui a responsabilidade de comunicar qualquer fato ou atividade que não tenha sido identificado. Esse fato está descrito na Resolução CONAMA nº279 de 27 de junho de 2001.

Art. 11º O empreendedor, durante a implantação e operação do empreendimento comunicará ao órgão ambiental competente a identificação de impactos ambientais não descritos no Relatório Ambiental Simplificado e no Relatório de Detalhamento dos Programas Ambientais, para as providências que se fizerem necessárias (BRASIL, 2001).

Esse artigo responsabiliza o responsável pela atividade em caso de conhecimento de algum fato e não comunica-lo ao órgão competente. Dessa maneira ele poderá ser punido por qualquer omissão comprovada. O artigo 12º da mesma resolução inclusive permite que haja mudanças no processo de licenciamento em caso de identificação do dolo.

Art. 12º O órgão ambiental competente, mediante decisão motivada, assegurado o princípio do contraditório, ressalvadas as situações de emergência ou urgência poderá, a qualquer tempo, modificar as condicionantes e as medidas de controle e adequação do empreendimento, suspender ou cancelar a licença expedida, quando ocorrer:

I - violação ou inadequação de quaisquer condicionantes ou infração a normas legais; ou

II - superveniência de graves riscos ambientais ou à saúde.
Parágrafo único. É nula de pleno direito a licença expedida com base em informações ou dados falsos, enganosos ou capazes de induzir a erro, não gerando a nulidade qualquer responsabilidade civil para o Poder Público em favor do empreendedor (BRASIL, Resolução CONAMA nº279 de 27 de junho de 2001, 2001).

5.2. Licenciamento em Minas Gerais

Em Minas Gerais o Licenciamento ambiental de qualquer empreendimento é regulamentado pelo complexo normativo do COPAM, e executado através das Câmaras Especializadas, das Unidades Regionais Colegiadas (URCs), das Superintendências Regionais de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SUPRAMS), da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e do Instituto Estadual de Florestas (IEF), conforme relata o Art. 1º do Decreto Estadual nº 44.844/08.

Através da Deliberação Normativa COPAM nº 74, de 09 de setembro de 2004 é regulamentado o licenciamento ambiental do Estado de Minas Gerais e

Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ambiental de funcionamento ou de licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos

de análise de pedidos de autorização ambiental e de licenciamento ambiental (MINAS GERAIS, 2004).

A classificação dos empreendimentos é feita segundo a Deliberação Normativa nº74/04 da seguinte maneira:

Tabela 3 – Classificação dos empreendimentos

		Potencial poluidor / degradador geral da atividade		
		P	M	G
Porte do empreendimento	P	1	1	3
	M	2	3	5
	G	4	5	6

Fonte: Deliberação Normativa COPAM nº 74, de 09 de setembro de 2004

A definição do potencial poluidor/degradador geral da atividade em P – Pequeno, M – Médio e G – Grande vai depender de alguns fatores e variáveis ambientais como água, ar e solo tendo como base de aplicação atividades definidas por uma lista presente também na Deliberação Normativa COPAM nº 74/2004, que divide em sete grupos. As variáveis ambientais são agrupadas em apenas três, mas há a consideração de outros fatores dentro dessas variáveis, como os efeitos de poluição sonora incluídos no ar e os efeitos nos meios bióticos e socioeconômicos sobre o solo.

O potencial poluidor/degradador geral é obtido da Tabela A-2 da resolução, como se segue abaixo:

Tabela 4 – Potencial poluidor

	Potencial Poluidor/Degradador Variáveis									
Variáveis ambientais ar/agua/solo	P	P	P	P	P	P	M	M	M	G
	P	P	P	M	M	G	M	M	G	G
	P	M	G	M	G	G	M	G	G	G
Geral	P	P	M	M	M	G	M	M	G	G

Fonte: Deliberação nº74 / 2004

Já as atividades listadas na COPAM nº 74, de 09 de setembro de 2004 foram divididas da seguinte maneira:

- Listagem A – Atividades Minerárias;
- Listagem B - Atividades Industriais / Indústria Metalúrgica e Outras
- Listagem C- Atividades Industriais / Indústria Química
- Listagem D - Atividades Industriais / Indústria Alimentícia
- Listagem E – Atividades de Infraestrutura
- Listagem F - Serviços e Comercio Atacadista
- Listagem G – Atividades Agrossilvipastoris (MINAS GERAIS, 2004)

Em cada um dessas listagens, atividades são definidas, e o seu grau de Potencial Poluidor/Degradador em cada um das variáveis ambientais também são definidas. Dentro dessa classificação, os empreendimentos que se enquadram nas classes 1 e 2 não necessitam de licenciamento, tendo de solicitar apenas a Autorização Ambiental de Funcionamento (AAF). Esse fato se deve ao impacto gerado por essas atividades serem insignificantes. Os empreendimentos contidos nas classes 3 e 4, devem seguir o processo normal de licenciamento, com o requerimento das licenças previa, de instalação e de operação, tendo como diferencial a possibilidade de requerer a Licença Prévia e a de Instalação ao mesmo tempo, cabendo ao órgão ambiental expedi-las ou não. Essa possibilidade é relatada pela Deliberação Normativa COPAN nº74/2004. Já os empreendimentos compreendidos pelas classes 5 a 6, devem atender ao processo de regularização ambiental e o processo de licenciamento com todos os requisitos do processo normal.

Os procedimentos para se realizar o processo de licenciamento ambiental no estado de Minas Gerais segue um fluxo próprio e inicia-se por meio do preenchimento do Formulário de Caracterização do Empreendimento (FCE). Este deverá ser entregue na SUPRAM, contendo as informações sobre o atendimento ou não por parte do empreendimento das precauções requeridas pelo poder público. O órgão ambiental providenciará a análise do documento e decidir se o empreendimento seguirá com o processo de licenciamento. Após a análise da documentação, o órgão ambiental emite o Formulário de Orientação Básica - FOB, no qual são listados todos os documentos necessários para a formalização dos processos de licenciamento e Autorização Ambiental de Funcionamento – AAF.

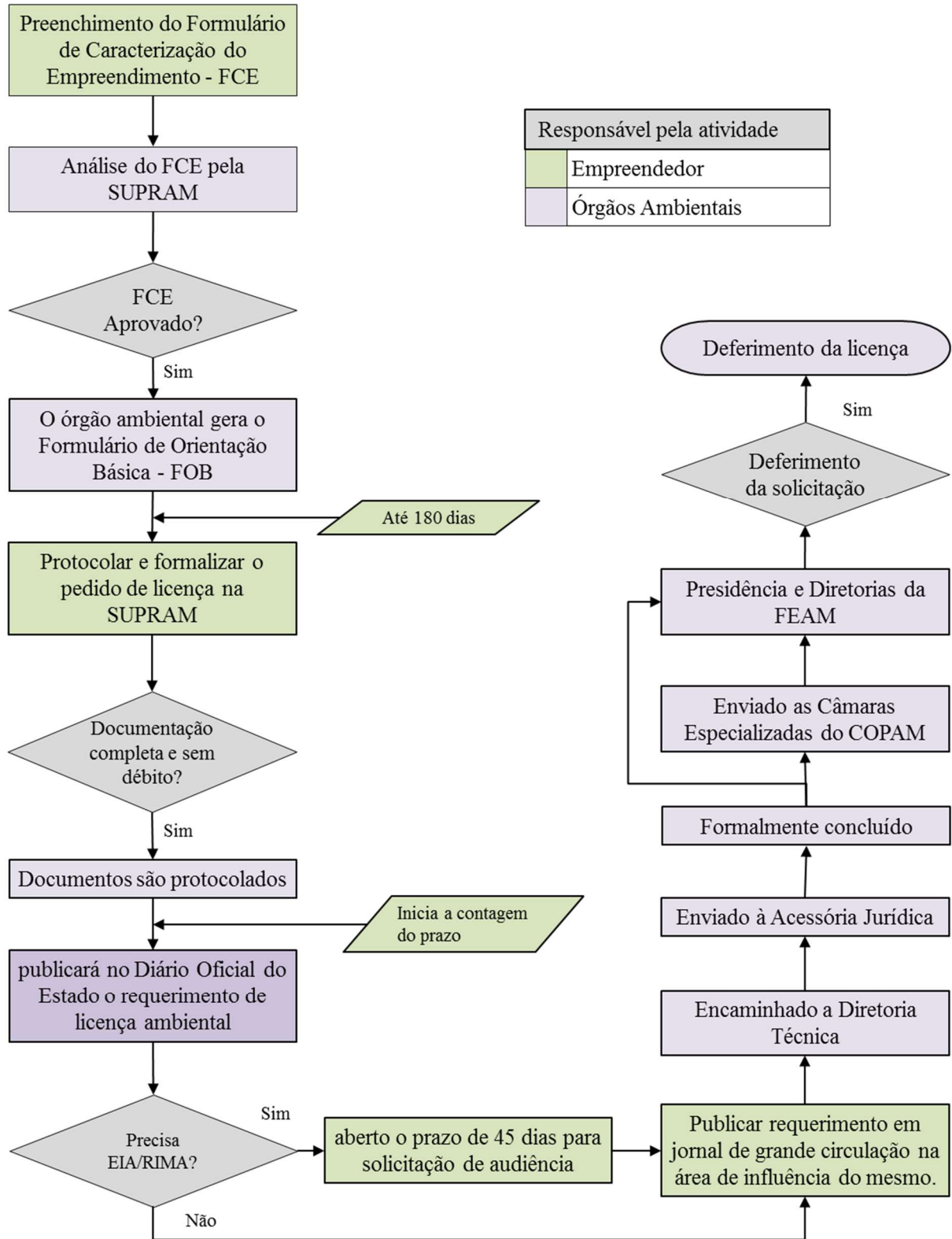
O investidor, interessado no licenciamento, deverá solicitar a licença no órgão ambiental no prazo máximo de 180 dias após o recebimento do FOB, ou no prazo estabelecido pela câmara do COPAM destinada a analisar o procedimento. Toda a

documentação deverá ser protocolada na SUPRAM, requerendo o licenciamento. O órgão confere a completude da documentação e publica no Diário Oficial de Minas Gerais o requerimento de licença ambiental. Dependendo do porte do empreendimento pode haver ou não a necessidade do EIA / RIMA. Sendo necessário deverá se dado um prazo de mais 45 dias para a solicitação da audiência pública pela comunidade que poderá ser afetada pelos impactos. Há ainda a necessidade de se publicar em um jornal de grande circulação da região afetada pelo empreendimento o requerimento para o licenciamento.

O responsável pela análise e elaboração do parecer técnico vai ser a diretoria técnica, que será responsável pela parte técnica do processo de avaliação. Esta se dará baseada em conhecimentos técnicos do responsável, além de visitas destes profissionais. Já a parte jurídica será analisada pela Assessoria Jurídica da FEAM, que encaminhará seu parecer ao fórum de decisão. Com esse parecer o processo é considerado concluído na parte formal. De acordo com o porte do empreendimento, o parecer pode ser enviado para o COPAM ou para o FEAM. Se enviado para o COPAM, será recebido pelas Câmaras Especializadas. Já quando o envio ocorre para o FEAM é recebido pela presidência e diretorias, que registra no FOB. O processo de licenciamento será incluído na pauta da Câmara Técnica para análise, julgamento e decisão da licença requerida e publicará a pauta no Diário Oficial. As Câmaras Técnicas do COPAM, em reuniões programadas, avaliam, julgam e decidem sobre os processos de licenciamento. Após decisão das câmaras o processo de licenciamento é encaminhado ao Presidente da FEAM, para assinatura do certificado ou da notificação do indeferimento e posterior comunicação ao interessado.

Esse procedimento para o licenciamento pode ser resumido pelo fluxo na figura 22:

Figura 22 - Procedimento para o licenciamento em Minas Gerais



Fonte: Elaborado a partir da DN COPAN n°74/2004

O processo de licenciamento ambiental no estado de Minas Gerais solicita alguns documentos, que variam segundo o porte e o tipo de impacto. Os documentos são os seguintes:

- Empreendimentos de maior porte e/ou grande impacto

- Estudo de Impacto Ambiental (EIA)

Documento a se elaborado conforme denota a resolução CONAMA 01 / 1986, na qual se deve apresentar que o empreendimento é viável do ponto de vista ambiental. É um relatório multidisciplinar, incumbindo a profissionais de várias áreas. Este documento faz parte da fase da solicitação da Licença Prévia.

- Relatório de Impacto Ambiental (RIMA)

É o documento que apresenta a análise e conclusão do que foi relatado no EIA. Os dois documentos, EIA e RIMA devem se sempre entregues juntos, sendo um consequência do outro. O RIMA dever ser muito claro e didático, apresentando as consequências do empreendimento no plano ambiental e econômico. Da mesma forma do EIA, o RIMA deve possuir o embasamento técnico elaborado por profissionais de diversas áreas, relatando a todos os segmentos impactados o grau de influência do projeto. Também compõem o documento de pedido da Licença Prévia

- Plano de Controle Ambiental (PCA)

É um documento componente da fase da licença de Instalação. O interessado deverá apresentar ações e planejamentos para mitigação e prevenção dos impactos resultantes da implantação do empreendimento, bem como da operação. Este documento também deve apresentar também as medidas para correção das não conformidades apresentadas e identificadas

- Relatório de Avaliação de Desempenho Ambiental do Sistema de Controle e demais Medidas Mitigadoras (RADA)

Documento no qual ocorrem o subsídio da análise do requerimento de revalidação da Licença de Operação, de acordo com o artigo 3º, inciso I da Deliberação Normativa COPAM 17/96. O procedimento de revalidação da LO tem por objetivo fazer com que o desempenho ambiental empreendimento seja formalmente submetido a uma avaliação periódica. Esse período é sempre aquele correspondente ao prazo de vigência da LO. A revalidação da LO é também a oportunidade para que o empreendedor explicita os compromissos ambientais voluntários porventura assumidos, bem como algum passivo ambiental não conhecido ou não declarado por ocasião da LP ou da LI ou da primeira LO ou mesmo por ocasião da última revalidação.

- Empreendimentos de menor porte e ou impacto, sem exigência do EIA / RIMA

- Relatório de Controle Ambiental (RCA)

Este documento identificará as não conformidades do empreendimento. É uma simplificação do processo. Nele devem ser descritos todas as interferências no meio ambiente e no plano social do local de instalação da atividade. É compreendido todas as fases, ou seja, instalação e operação.

- Plano de Controle Ambiental (PCA)

É o mesmo dos empreendimentos de maior porte e/ou grande impacto

- Relatório de Avaliação de Desempenho Ambiental do Sistema de Controle e demais Medidas Mitigadoras (RADA)

É o mesmo dos empreendimentos de maior porte e/ou grande impacto, diferenciando no fato de que a análise será feita em

cima do RCA, dos compromissos assumidos nele e nas melhorias propostas nele.

5.3. Procedimento para Licenciamento da Fabricação do Painel Fotovoltaico

A instalação ou o desenvolvimento de qualquer atividade potencialmente poluidora necessita ser autorizado. Para a produção, instalação e operação do painel fotovoltaico devem, dessa maneira, serem autorizados e atender a estes requisitos, pois conforme o TCU, em sua Cartilha de Licenciamento Ambiental:

O licenciamento ambiental é uma obrigação legal prévia à instalação de qualquer empreendimento ou atividade potencialmente poluidora ou degradadora do meio ambiente e possui como uma de suas mais expressivas características a participação social na tomada de decisão, por meio da realização de Audiências Públicas como parte do processo. (TCU, 2007)

Conforme apresentado no processo de fabricação dos painéis fotovoltaicos, toda a manufatura passa por diversas atividades. Essas atividades estão envolvidas em diversos impactos ambientais e influências no meio e na vida do homem. As principais atividades vão possuir o seu processo de licenciamento muito semelhante a outros processos já conhecidos e tradicionais.

A resolução CONAMA n° 237/97 traz em seu Anexo I um rol de atividades que necessitam de licenciamento em seus processos. No caso da fabricação dos módulos fotovoltaicos, foram destacadas as atividades que estão relacionadas:

ATIVIDADES OU EMPREENDIMENTOS SUJEITOS AO LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Extração e tratamento de minerais

(...)

- lavra a céu aberto, inclusive de aluvião, com ou sem beneficiamento

- lavra subterrânea com ou sem beneficiamento

(...)

Indústria metalúrgica

(...)

- produção de laminados / ligas / artefatos de metais não-ferrosos com ou sem tratamento de superfície, inclusive galvanoplastia

- metalurgia do pó, inclusive peças moldadas

(...)

Indústria de material elétrico, eletrônico e comunicações

(...)

- fabricação de material elétrico, eletrônico e equipamentos para telecomunicação e informática (BRASIL, 1997).

Das atividades expostas na resolução e comparando com o processo de fabricação apresentado, podemos inferir que toda a cadeia produtiva da produção dos módulos está sujeita ao licenciamento.

A extração do silício apresenta os mesmos impactos da mineração convencional, dessa forma, seu licenciamento é igual, com os mesmos requisitos e procedimentos.

A metalurgia apresenta muita semelhança com a metalurgia de outros elementos, como o aço e também irá apresentar um processo de licenciamento igual.

De forma semelhante, o processo de purificação e finalização dos módulos fotovoltaicos apresentará os impactos e medidas de controle semelhantes ao da indústria química, acarretando em um processo de licenciamento semelhante.

As atividades envolvidas na manufatura dos módulos fotovoltaicos apresentam características que independente do tamanho vão apresentar um potencial poluidor considerável, sendo necessário o licenciamento na sua forma normal e completa.

A CF / 88 determina:

Art. 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.

§ 1º - Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público:

IV - exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade; (BRASIL, 1988).

Dessa forma, os licenciamentos dessas atividades obrigatoriamente deverão ser feito através de EIA - Estudo de Impacto ambiental e conseqüentemente o RIMA - Relatório de Impacto Ambiental, seguindo o processo de licenciamento normal.

Não se faz necessário abordar novamente o processo de licenciamento ambiental normal, uma vez que já foi desenvolvido no item 5.1. Dessa maneira não será apresentado novamente.

5.4. Processo Licenciamento da Instalação e Operação das Usinas Fotovoltaicas

O processo de licenciamento da instalação e operação das usinas fotovoltaicas, como qualquer empreendimento, partirá da análise do porte e dos impactos presentes na atividade. Como passo inicial de qualquer licenciamento deve-se definir primeiramente o órgão competente para o licenciamento. Este analisará o empreendimento e definirá qual o procedimento a ser seguido.

O artigo 12 da resolução CONAMA 237/97 define:

Art. 12 - O órgão ambiental competente definirá se necessário, procedimentos específicos para as licenças ambientais, observadas a natureza, características e peculiaridades da atividade ou empreendimento e, ainda, a compatibilização do processo de licenciamento com as etapas de planejamento, implantação e operação.

§ 1º - Poderão ser estabelecidos procedimentos simplificados para as atividades e empreendimentos de pequeno potencial de impacto ambiental, que deverão ser aprovados pelos respectivos Conselhos de Meio Ambiente (BRASIL, 1997)

Considerando-se a necessidade de se incrementar a oferta de energia elétrica no Brasil, o CONAMA, balizado nas competências que lhe são conferidas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, elaborou a Resolução CONAMA nº 279, de 27 de junho de 2001, que estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno porte de impactos ambientais, conforme apresentado o item 5.1.

Dessa maneira, o processo de licenciamento dependerá de como o órgão responsável pelo licenciamento ambiental vai considerar o empreendimento. Se a usina for de grande porte com grandes impactos, o processo de licenciamento seguirá o processo regular, com a confecção do EIA / RIMA e a emissão das licenças para cada uma das fases. Se o porte e os impactos não forem tão grandes, o licenciador poderá permitir o processo simplificado.

No estado de Minas Gerais, o licenciamento das usinas fotovoltaicas foi tratado de forma expressa pelo Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM. A Deliberação Normativa COPAM nº 176, 21 de agosto de 2012 altera os dispositivos da Deliberação Normativa COPAM nº 74, de 9 de setembro de 2004, incluindo na listagem E um código para adicionar a atividade de geração de energia fotovoltaica.

Art. 1º - Fica incluído na listagem “E” da Deliberação Normativa COPAM nº 74, de 9 de setembro de 2004, o item especificado a seguir:

E-02-06-2 - Usina Solar Fotovoltaica

Pot. Poluidor/Degradador Ar: P Água: P Solo: G Geral: M

Porte:

Capacidade Instalada ≤ 10 MW: Pequeno

10 MW < Capacidade Instalada ≤ 80 MW: Médio

Capacidade Instalada > 80 M: Grande. (MINAS GERAIS, 2012)

Conforme se pode inferir da classificação acima, as Usinas Fotovoltaicas apresentam como potencial poluidor/degradador geral médio. Esse dado analisado com base na Tabela 3 – **Classificação dos empreendimentos**, que separa os empreendimentos de acordo com classes relacionando o potencial poluidor/degradador com o porte, permite classificar a Usina Solar Fotovoltaicas em Classe 2, 3 e 5. Estes valores de classes é que vão definir o tipo de licenciamento e suas características. Segundo a Deliberação Normativa COPAM nº 176, de 21 de agosto de 2012 nos seus artigos 2º e 3º, os empreendimentos serão assim tratados:

Art. 2º - Os empreendimentos a que se refere o art. 1º desta Deliberação Normativa, enquadrados na classe 3, deverão apresentar para a formalização processual, nos termos do previsto na Resolução CONAMA nº 279, de 27 de junho de 2001, Relatório de Controle

Ambiental – RCA, na fase de Licença Prévia e Plano de Controle Ambiental, na fase de Licença de Instalação.

Art. 3º - Os empreendimentos a que se refere o art. 1º desta Deliberação Normativa, enquadrados na classe 5, deverão apresentar para a formalização processual Estudo de Impacto Ambiental e seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental – EIA-RIMA, na fase de Licença Prévia e Plano de Controle Ambiental, na fase de Licença de Instalação (MINAS GERAIS, 2012).

Os sistemas de geração foram divididos em grupos de acordo com o porte da usina. Aquelas com capacidade inferior a 10MW são consideradas de pequeno porte, entre 10MW e 80MW são de médio porte e aquelas com mais de 80MW de grande porte. Os empreendimentos que se enquadram na classe 3 deverão apresentar o RCA para demonstrar o interesse em licenciar e formalizar o pedido na fase de Licença prévia. Já para o momento da solicitação da licença de instalação deve ser apresentado o PCA. Os empreendimentos identificados como classe 5 deverão apresentar o EIA e o RIMA para a solicitação da licença prévia e o PCA para solicitar a Licença de Instalação.

5.5. Apresentação do Processo de Licenciamento EUA e Alemanha

A apresentação de outros processos de licenciamento é interessante de serem citados para servirem de comparação e crítica ao brasileiro. Dois países interessantes de serem apresentados são os Estados Unidos e a Alemanha. O primeiro representa uma grande potência industrial, com grande potencial poluidor e com um perfil mais prático para resolução das questões problemas. Já o segundo se faz interessante a sua análise em função de estar inserido na Europa, região engajada em questões ambientais, e por ser este país grande potência dentro da União Europeia, líder em diversas questões do bloco.

5.5.1. Alemanha

O início da organização de forma mais efetiva dos procedimentos para a proteção ambiental na Alemanha se deu por volta dos anos 1970 com a criação de diversos departamentos de meio ambiente em diferentes ministérios até a unificação do tema sob o Ministério do Meio Ambiente, em 1986. Em 1990 foram aprovadas diversas leis específicas para resguardar o meio ambiente tratando as águas, os resíduos, as

emissões e licenciamento ambiental. Atualmente o país está absorvendo as leis da União Europeia, mesclando com as leis nacionais. No entanto, as normas para emissão das licenças são mais rígidas do que as do bloco europeu.

Uma das maiores preocupações dos órgãos responsáveis pela preservação do meio ambiente está na questão nuclear, com as contaminações do solo. Além disso, a redução das emissões de CO₂ e o desenvolvimento das fontes de energia renovável são outros focos de atenção.

Os princípios que orientam a política ambiental na República Federal da Alemanha são (ÜBING, *et al.*, 1999):

- O princípio da prevenção, que busca evitar o impacto ambiental, o perigo ou dano em vez de reparar os danos. Este objetivo deve ser alcançado por:

- Normas de emissões uniformes

São definidos limites de emissão máximos ou limites de emissão que podem ser obtidos quando da aplicação do estado da tecnologia ou até mesmo o estado da ciência. A prevenção também requer revisão destas normas de emissão de vez em quando;

- Definição clara dos objetivos de qualidade ambiental;

Padrões máximos ambientais são definidos de modo que, os impactos não atinjam ou prejudiquem determinados entes ambientais, por exemplo, poluentes não prejudicam receptores críticos, como o homem e a natureza, bem como a qualidade do ar, da água e do solo.

- Aplicando abordagens com considerações cruzadas;

Significa que diferentes meios, que se interagem de alguma maneira, como o ar, a água, o solo e suas inter-relações são consideradas em conjunto, e não separadamente. Uma ferramenta utilizada para isso é a diretriz da Comunidade Europeia da lei alemã sobre a Avaliação de Impacto Ambiental para determinados

projetos privados. Portanto, ao fixar objetivos de qualidade ambiental as consequências em relação a outros meios também devem ser levadas em conta.

- O Princípio da Cooperação, onde deve ocorrer uma atividade colaborativa entre os interessados na atividade. Os empreendedores e os órgãos públicos que realizam a regulação devem buscar em conjunto evitar danos ambientais, degradação ou riscos. Também há a solicitação da cooperação internacional em matéria de política ambiental.
- O princípio "Os poluidores devem pagar". Independente de quem tenha causado o impacto ambiental, este deve pagar pelas consequências. É um meio econômico de reduzir as emissões nas fontes.

A competência para resguardar o meio ambiente é dividida entre o ente federal, os regionais e os municipais. O órgão responsável pela avaliação dos impactos ambientais é a Agencia Ambiental Alemã. Apesar disso, a maior parte dos projetos é conduzida pelas agencias regionais.

O governo federal é o responsável por definir conteúdos e procedimentos das diferentes atividades, bem como normas de emissão e de índices de qualidade. O governo federal é responsável pela organização legislativa, e os estados federais são os executores.

As licenças para fábricas de produtos químicos, plantas de tratamento de resíduos e instalações semelhantes são dadas pela administração regional (por exemplo, *Regieringspräsident*), enquanto as licenças para obras industriais menores ou estações de energia são dadas pelos Inspetores de fábrica (*Gewerbeaufsichtsämter*). A supervisão de todas as plantas fabris é de reponsabilidade dos inspetores de fábrica. Essa inspeção e supervisão visa controlar os aspectos ambientais, os aspectos de segurança, bem como os aspectos do lugar de trabalho (ÜBING, *et al.*, 1999).

Os procedimentos para se pedir a licença são:

- Pedido por escrito;

- Elaboração de documentos técnicos;
- Publicação no Diário Oficial e jornal diário;
- Apresentação para inspeção durante um período de dois meses para o público interessado;
- Aviso por escrito de autorização.

No caso de instalações menores, com baixos níveis de emissões, um processo de licenciamento "simplificado" se aplica em que a publicação não ocorrer (ÜBING, *et al.*, 1999).

Para a construção e operação ou grandes mudanças de qualquer empreendimento é necessário autorização. O pedido deve ser apresentado por escrito com as autoridades por parte do projetista e operador e, em particular, deve conter todos os detalhes sobre a natureza e tamanho da instalação. Incluem-se aqui uma explicação do processo previsto, com detalhes de todos os dados técnicos bem detalhados sobre o tipo e a quantidade de material a ser utilizado. Deve conter os produtos, os resíduos resultantes e as possíveis reações secundárias. A extensão das emissões deve ser delimitada e a sua distribuição espacial e temporal.

Para assessorar no processo, existem os órgãos técnicos e científicos assistente dos ministérios ambientais, que são a agência federal de Proteção Ambiental (*Umweltbundesamt*) e as instituições estatais federais de proteção ambiental (*Landwdsanstalten für UMWELTSCHUTZ*). Estes últimos dão pareceres científicos para os ministérios, assim como para o licenciamento e supervisão dos órgãos. A Agência de Proteção Ambiental dão pareceres científicos para o governo federal e coordena projetos de interesse ambiental pesquisa e desenvolvimento (ÜBING, *et al.*, 1999).

Todos os organismos oficiais são suportados, nos procedimentos de licenciamento ambiental, por peritos independentes ou organizações especializadas como o TÜV que são aceitos pelos ministros estatais como qualificado e independente (ÜBING, *et al.*, 1999).

Em muitos casos de aplicações para licenciamento, o TÜV está envolvido e deve atuar:

- a) ajudando os candidatos na preparação das documentações formais e

b) preparar expertises em relação a questões ambientais como previsões das emissões e as previsões ambientais.

Estes expertises ou são solicitadas pelos requerentes ou pelas autoridades. Os especialistas também estão ocupados no controle e análise das seguranças estabelecidas e como as empresas estão operando as instalações, ou seja, seguindo o que requer a licença de operação.

Outra atividade dos especialistas da TÜV é a verificação das emissões, utilizando aparelhos para realizar as medições continuamente. Este é um dos principais meios para garantia para controle ambiental.

5.5.2. Estados Unidos

Considerações sobre a forma que os Estados Unidos tratam as questões ambientais são muito interessantes de serem feitas. Eles são altamente industrializados e conseqüentemente muito poluidores. Sozinhos são responsáveis por cerca por quase 25% das emissões globais de dióxido de carbono ou de outros gases do efeito estufa, como o metano. O país não é signatário do protocolo de Kyoto, no entanto, por ser uma república federativa, os estados possuem regulamentação própria e cada um a sua maneira trata o assunto encarando o desafio de combater o aquecimento global e estão adotando voluntariamente medidas de redução dos gases poluentes.

O órgão responsável por administrar as questões ambientais por parte do governo federal é a Agencia de Proteção Ambiental (EPA). Nos estados, muitos possuem suas próprias agencias de aplicação ambiental. A Competência para estes assuntos é dividida entre os três níveis, ou seja, autoridades federais, estaduais e municipais.

A legislação ambiental norte americana é baseada na Lei de Proteção Ambiental de 1969, complementada por outras, como a do Ar Limpo de 1970, a da Água Limpa de 1977, a da Conservação dos Recursos e Recuperação de 1976, gestão florestal de 1976 e muitas outras. O ato nº49 instituiu a Política Nacional de Meio Ambiente (NEPA – *National Environmental Policy Act*) como primeiro passo para proteção do meio ambiente e para estabelecer os processos para regular essa proteção.

As principais funções do NEPA são:

- Descreve as políticas e os objetivos ambientais em escala nacional;
- Exigir que as agências federais considerem os impactos ambientais e seus efeitos em sua tomada de decisão

No mesmo decreto que criou o NEPA, foi criado o Conselho de Qualidade Ambiental dos EUA (CEQ), que supervisiona a implementação pelas agências federais do processo de avaliação dos impactos ambientais e atua como um árbitro quando as agências discordam sobre a adequação de tais avaliações. Também foi criada a Agência de Proteção Ambiental Americana (*United States Environmental Protection Agency* – USEPA), que possui como função:

- Estabelecer padrões de emissões e de qualidade
- Conduzir e incentivar o desenvolvimento técnico através de diversos fundos de financiamento;
- Elaborar e revisar todos os Relatórios de Impactos Ambientais federais
- Acompanhar e avaliar as leis e regulamentos ambientais

A NEPA exige que as agências federais tomem conta dos impactos ambientais nas decisões federais que possam afetar significativamente o meio ambiente. Nessa política as agências federais têm de avaliar os impactos ambientais das decisões e informar o público sobre eventuais impactos. O público tem o direito de comentar qualquer pedido de licenciamento antes da ação é tomada (EPA, 2011).

O sistema legal, na área ambiental é dividido em duas categorias: uma de controle da poluição e despoluição e outra da conservação dos recursos naturais. Essas leis são derivadas de diversas fontes e tratados internacionais (HG Legal Resources, 2013).

As formas de se controlar as emissões e punir quem infrinja as leis é através da imposição de multas e punições no âmbito civil. Mas atualmente tem-se promulgado leis ambientais que criminalizam o comportamento ambientalmente destrutivo.

Os dois principais instrumentos de política para a proteção do ambiente são as leis e incentivos. As leis, através das regulamentações são usadas para definir padrões de desempenho das atividades, ou seja, dos resultados que estas podem ocasionar no meio ambiente. Além disso, as leis também são usadas para definir a forma que se deve executar determinada atividade. Os padrões de desempenho devem

especificar os níveis de emissão e deixar os interessados em licenciar decidir como esses níveis serão cumpridos. Já os padrões de execução devem definir exatamente como os padrões de desempenho serão cumpridos (HG Legal Resources, 2013).

Uma forma que o governo americano se utiliza para o cumprimento de determinados parâmetros é fornecendo incentivos ou cobrando taxas, que nada mais são do que recompensas e punições para influenciar as decisões. Há também um comércio de emissões, aonde são leiloados “direitos de poluição” em que é permitida uma quantidade de poluição e dividida em unidades, que são leiloadas, dando às organizações de regulação ambientais a oportunidade de comprar essas unidades para criar um ambiente mais limpo do que o previsto inicialmente. Tal plano foi implementado para as emissões de SO₂ no Programa de Chuva Ácida de 1990 e foi realizado para os gases de efeito estufa em escala regional, como forma de mitigar o aquecimento global (HG Legal Resources, 2013; EPA, 2011).

5.6. Considerações Finais do Capítulo

No capítulo 5 foram descritos os processos de licenciamento ambiental no Brasil e em Minas Gerais, com a estrutura e competências a serem seguidas para se implementar uma nova atividade. Focando na geração fotovoltaica, foram apresentados os procedimentos para o licenciamento de cada uma das etapas produtivas dos painéis fotovoltaicos, sua montagem e implantação da usina. Como forma comparativa foi apresentada a estrutura e a organização do licenciamento na Alemanha e nos Estados Unidos. Estes países foram escolhidos por representarem grandes potências econômicas e por possuírem conhecimento tecnológico dos sistemas de geração fotovoltaico. O capítulo 6 apresenta uma comparação das tecnologias apresentadas no capítulo 2, tendo como foco os impactos ambientais. É analisado o ciclo de vida de cada um dos tipos de células.

6. COMPARAÇÃO TECNOLÓGICA DOS TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS – UMA VISÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS

Este capítulo apresenta um estudo comparativo preliminar sobre impactos ambientais no processo produtivo de quatro tecnologias de células FV baseadas em silício. O objetivo é mostrar que cada uma delas apresenta diferenças significativas nas emissões e impactos na fabricação, justificando a necessidade de estudar o licenciamento da instalação das usinas fotovoltaicas de geração de energia de uma forma mais aprofundada, diferenciando de acordo com o tipo de tecnologia utilizada no processo fabril dos painéis e em função de todo o ciclo de vida. Atualmente o licenciamento ambiental das usinas no Brasil é feito considerando apenas o porte da geração, ou seja, em função da capacidade instalada e não no ciclo de vida. Dessa maneira, desconsidera-se o histórico e os impactos ambientais acumulados para a fabricação dos painéis fotovoltaicos, não sendo muito efetivo no controle ambiental, uma vez que não escolhe a melhor tecnologia para a aplicação.

Uma boa forma de se avaliar os impactos ambientais envolvidos em uma tecnologia consiste na metodologia de análise do ciclo de vida (LCA- *Life Cycle Assessment*), que efetua uma avaliação de todos os processos envolvidos na fabricação de um produto, do começo ao fim, *from cradle-to-grave*. A base para uma estrutura genérica para a análise é fornecida pela ISO 14040 e 14044.

O LCA é uma técnica para avaliar os aspectos ambientais e os potenciais impactos associados com um produto, processo ou serviço. Na técnica, é compilado um inventário de insumos energéticos e materiais relevantes e liberações ambientais. As entradas e os lançamentos são avaliados do ponto de vista dos impactos ambientais associados. Com esses dados os resultados são interpretados para ajudar a tomar uma decisão mais informada, (EPA, 2006).

Os métodos para interpretar os dados do LCA são variados e se diferem dependendo da atividade e dos objetivos da análise.

6.1. Metodologia

Para balizar o desenvolvimento das tecnologias fotovoltaicas com o aumento da sua utilização, se faz necessária uma comparação dos ciclos de vida, considerando o

processo produtivo dos diferentes tipos de tecnologia. Para isso utiliza-se o software OpenLCA em conjunto com a base de dados EcoInvent. O OpenLCA é um software livre e de código aberto para LCA e avaliação da sustentabilidade. O EcoInvent é o banco de dados de Inventário do Ciclo de Vida, com valores de cargas ambientais (entradas e saídas de materiais, substâncias e energia), associadas ao ciclo de vida de um grande número de produtos, processos, sistemas de energia, de transporte, de disposição de resíduos, dentre outros, (WEIDEMA, *et al.*, 2013).

As simulações são baseadas apenas no processo produtivo de um metro quadrado de célula fotovoltaica. Não são levadas em consideração as etapas de montagem dos módulos e das placas fotovoltaicas, assim como a montagem e o descomissionamento das usinas. O objetivo é demonstrar que existem diferenças significativas no processo produtivo de cada uma das células, no que tange aos impactos ambientais e os consumos energéticos, o que influenciará o somatório dos impactos ambientais presentes em todo o ciclo de vida das tecnologias.

Os resultados apresentados objetivam expor essas diferenças, de forma simplificada. Os valores apresentados devem ser vistos apenas como um indicativo de diferença e não uma conclusão sobre as vantagens de determinada tecnologia. É necessária uma análise mais aprofundada para tornar esses valores mais representativos do caso real, servindo para um balizamento para um futuro investimento.

Para um estudo mais aprofundado deve-se considerar características específicas tais como a eficiência de cada tecnologia, o tempo de vida útil de cada tipo de material e dos módulos fotovoltaicos, diminuição do desempenho com o tempo e a temperatura, etc. Essas características alteram-se de forma efetiva, de uma tecnologia para a outra.

O estudo desenvolvido neste trabalho não visa proporcionar base para decisão com relação a investimento em alguma das tecnologias, nem verificar benefícios e vantagens na aplicação de uma delas. Este trabalho visa simplesmente suscitar a importância do processo produtivo de cada tecnologia e da necessidade de sua consideração, através do LCA para um possível licenciamento ambiental.

Foram simuladas todas as etapas de produção da célula baseada em silício policristalino (poli-Si), monocristalino (mono-Si) e amorfo (a-Si) e da célula baseada na tecnologia da HIT *SmartSilicon*, com heterojunção de silício metalúrgico com silício amorfo proveniente da película fina (HIT). As entradas e saídas de materiais e energia durante o ciclo das células poli-Si, mono-Si e a-Si se baseiam em modelo já desenvolvido na base de dados da EcoInvent para esse tipo de célula. Já para a tecnologia HIT o processo de fabricação é montado separadamente, dado que a sua fabricação inclui sub-processos já utilizados em outras tecnologias (e, portanto, disponíveis na base EcoInvent) juntamente com sub-processos novos. Esses novos sub-processos são definidos através das etapas produtivas da tecnologia descritas em Sinha (2011).

Para a comparação dos impactos gerados no ciclo de vida das células utiliza-se a metodologia ReCiPe. Este método transforma a longa lista de resultados do inventário do ciclo de vida, em um número limitado de pontuações dos indicadores, que expressam a gravidade relativa em uma categoria de impacto ambiental (RIVM, *et al.*, 2014). Ele objetiva combinar a metodologia EcoIndicator 99, que é uma metodologia que utiliza um grande número de categorias de impacto ambiental, abordando com foco orientado para os danos (MINISTRY OF HOUSING, 2000), com a metodologia CML, que é a metodologia que apresenta a vantagem de limitar as incertezas nas fases iniciais da cadeia ao fazer uma modelagem causa-efeito. Este método contém mais de 1700 fluxos diferentes, (PRe, 2014).

O ReCiPe é um método LCIA (*life cycle impact assessment*) que está harmonizado em termos de princípios de modelagem e escolhas, oferecendo resultados, tanto de *Midpoint* quanto de *Endpoint*, (GOEDKOOPE *et al.* 2009).

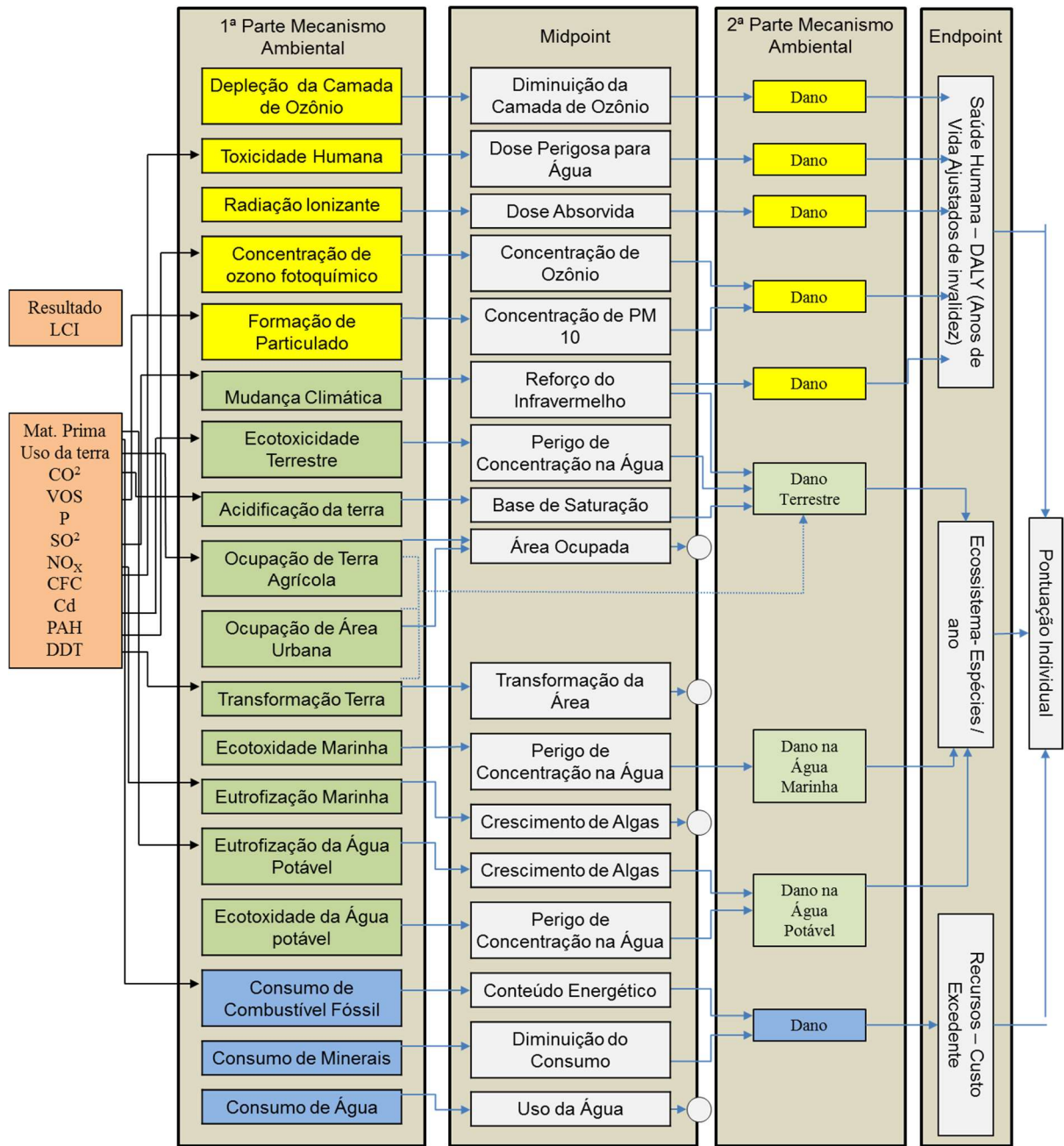
O *Midpoint* representa os impactos com uma abordagem orientada para o problema, ou seja, ele traduz os impactos em temas ambientais, como as alterações climáticas, a acidificação, toxicidade humana, etc.. Já o *Endpoint* traz uma abordagem orientada para o dano, traduz impactos ambientais em questões de interesse, a saúde humana, o ambiente e os recursos naturais (ACERO, *et al.*, 2014). Uma das principais vantagens da metodologia ReCiPe é permitir que diferentes impactos ambientais sejam combinados e expressos em apenas um único valor. Estas pontuações dos indicadores expressam a gravidade relativa em uma categoria de impacto ambiental (RIVM, *et al.*, 2014). No entanto, estas categorias sofrem

contribuições dos diversos indicadores dos *Midpoints*, bem como das emissões individualmente.

O método ReCiPe fornece uma formulação para o cálculo dos indicadores das categorias de impacto do ciclo de vida de cada uma das células FVs comparadas, silício policristalino, monocristalino, amorfo e HIT.

A figura 23 mostra a estrutura geral do método ReCiPe. Na coluna mais a esquerda são relacionados algumas possíveis emissões ou saídas do inventário (LCI – Life Cycle Inventory), dos processos a serem analisados. Na segunda coluna, 1ª parte do mecanismo ambiental, são mostrados os impactos dos lançamentos ou saídas dos processos. Na coluna do meio, são mostradas as consequências dos impactos ambientais, ou seja, o *Midpoint*. Na coluna da 2ª parte do mecanismo ambiental os *Midpoints* são valorados para serem agrupados em danos que serão considerados em cada grupo do *Endpoint*. A última coluna, os danos são valorados em pontos para definir o valor de cada um deles nas categorias de *Endpoint*. Estes pontos classificam os resultados da análise, possibilitando comparar os ciclos de vida de cada processo ou atividade desejada.

Figura 23 – Estrutura geral do método LCIA ReCiPe



Fonte: Goedkoop, et al., 2013 - Adaptado

A análise é desenvolvida em dois níveis: primeiramente, indicadores relativos às emissões e consumos de energia e materiais em todo processo são considerados (“Midpoint”); na sequência, os impactos dessas emissões na saúde humana e no ecossistema são ponderados e graduados (“Endpoint”).

6.2. Resultados

Após alimentação do programa OpenLCA com as informações dos processos colhidas na base de dados do Ecolnvent, a cadeia de processos é estruturada em um fluxo representando todo ciclo produtivo. Em função dos dados presentes na base de dados Ecolnvent, que são baseados em experiências anteriores normatizadas, o sistema adiciona automaticamente todos os impactos ambientais presentes em cada atividade do fluxo. O resultado da simulação do fluxo produtivo é um inventário com uma lista de todos os recursos extraídos (insumos elementares), ou seja, matéria prima para o processo, e emissões (saídas elementares) que são necessários para a unidade funcional. O método de análise do impacto, o ReCiPe, divide em 18 tipos de impactos, conforme pode-se depreender da figura 24.

Figura 24 – Impactos considerado na metodologia ReCiPe



Fonte: Criado pelo autor

No entanto, nem todos os impactos dessa lista, após a simulação, apresentaram valores significativos no processo de fabricação das células FV. Ou seja, os impactos são muito baixos, ou mesmo não existem. Dessa maneira, são apresentados apenas os itens relevantes, como mostrado na

Figura 25 – Itens mais relevantes considerados na comparação



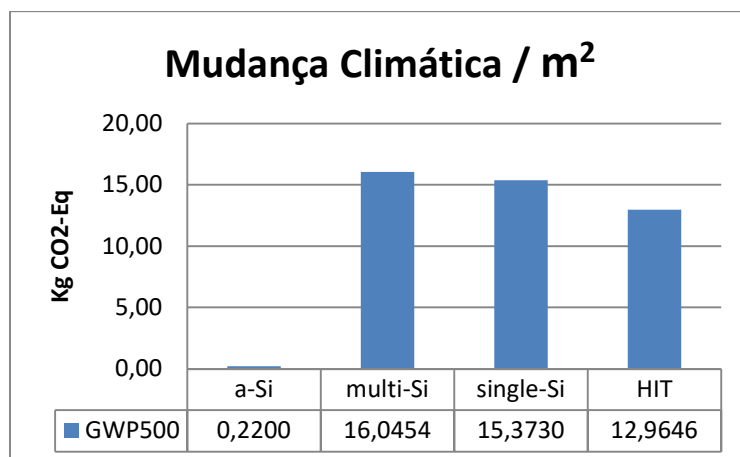
Fonte: Criado pelo autor

Os resultados dos impactos dos ciclos de cada uma das tecnologias são mostrados nos gráficos das figuras 26, até a 37. Na tabela 5 são apresentadas as unidades dos gráficos.

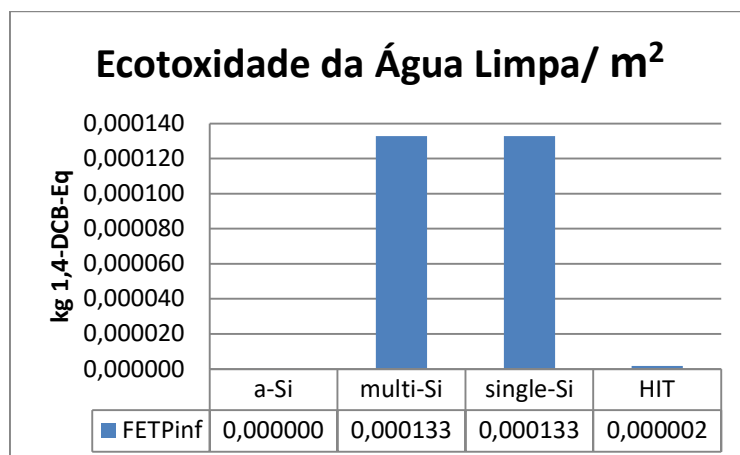
Tabela 5 – Unidades das ordenadas das figuras 26 a 37

Unidade	Descrição
Kg CO2-Eq	Quilograma equivalente de dióxido de carbono
kg 1,4-DCB-Eq	Quilograma equivalente de 1,4 diclorobenzeno
kg P-Eq	Quilograma equivalente de fósforo
kg N-Eq	Quilograma equivalente de nitrogênio
kg PM10-Eq	Quilograma equivalente de partículas inaláveis de diâmetro inferior a 10 micrômetros (μm)
kg NMVOC	Quilogramas Compostos Orgânicos Voláteis não metânicos
kg SO2-Eq	Quilograma equivalente de dióxido de enxofre
m^2a	Metro quadrado de área útil
m^3	Metro Cúbico

Fonte: Criado pelo Autor

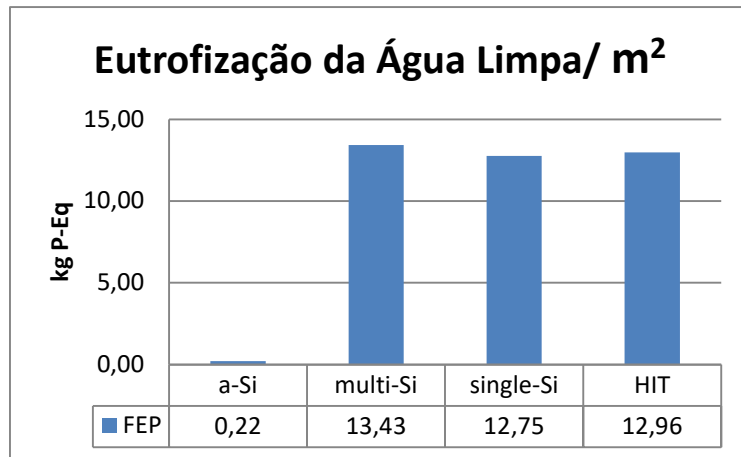
Figura 26 – Gráfico comparativo Mudança Climática / m^2 – ReCiPe – Impactos

Fonte: Criado pelo Autor

Figura 27 – Gráfico comparativo Ecotoxicidade da Água Limpa / m^2 – ReCiPe – Impactos

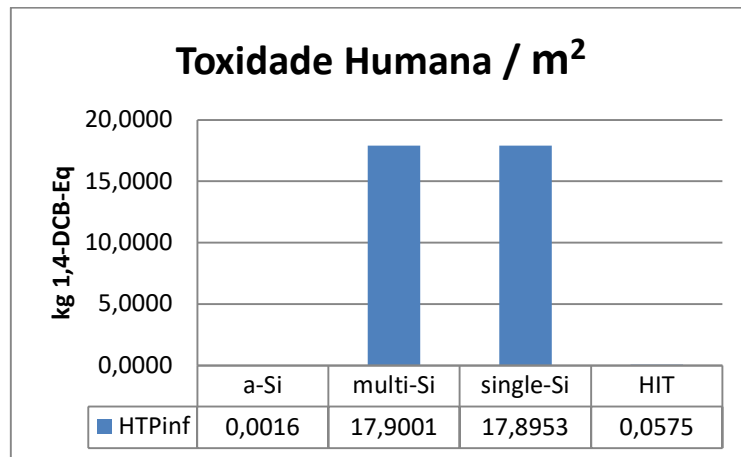
Fonte: Criado pelo Autor

Figura 28 – Gráfico comparativo Eutrofização da Água Limpa / m² – ReCiPe – Impactos



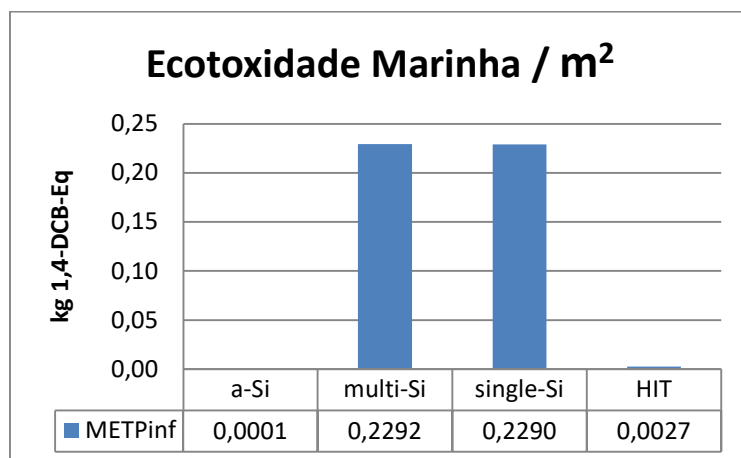
Fonte: Criado pelo Autor

Figura 29 – Gráfico comparativo Toxicidade Humana / m² – ReCiPe – Impactos



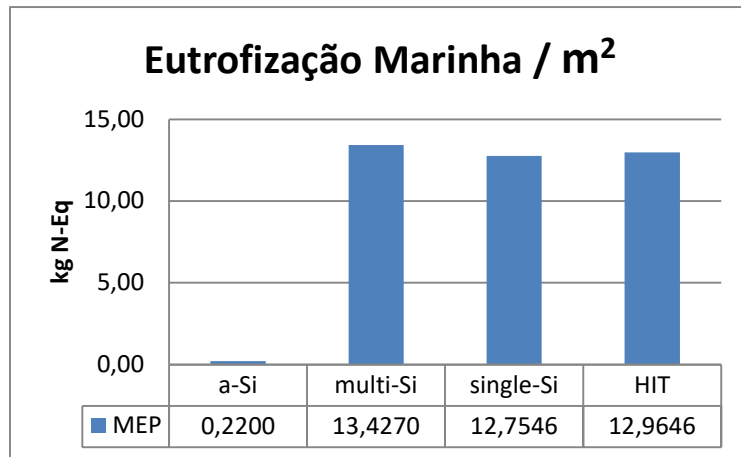
Fonte: Criado pelo Autor

Figura 30 – Gráfico comparativo Ecotoxicidade Marinha / m² – ReCiPe – Impactos



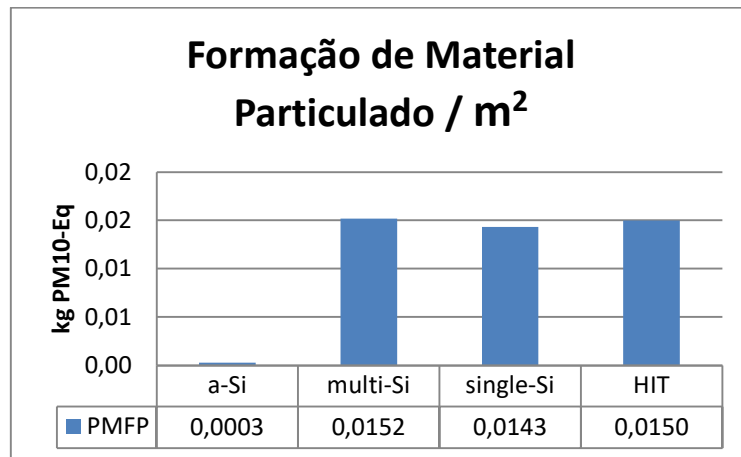
Fonte: Criado pelo Autor

Figura 31 – Gráfico comparativo Eutrofização Marinha / m² – ReCiPe – Impactos



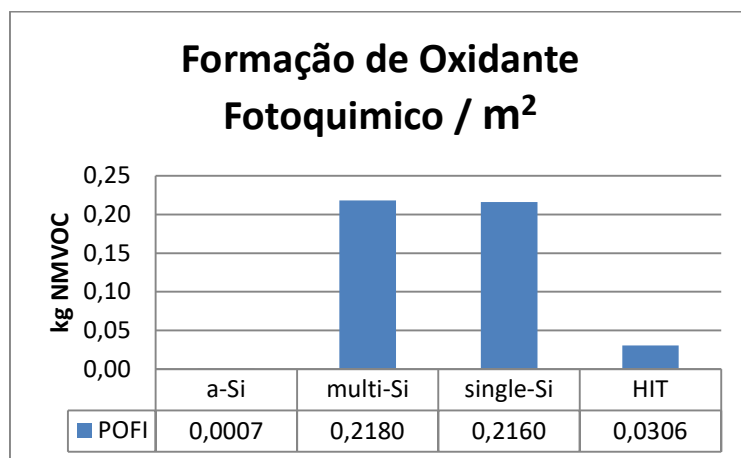
Fonte: Criado pelo Autor

Figura 32 – Gráfico comparativo Formação de Material Particulado / m² – ReCiPe – Impactos



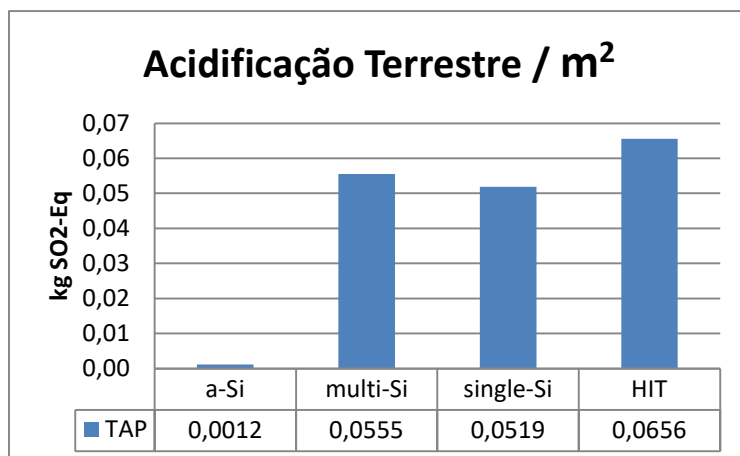
Fonte: Criado pelo Autor

Figura 33 – Gráfico comparativo Formação de Oxidante Fotoquímico / m² – ReCiPe – Impactos



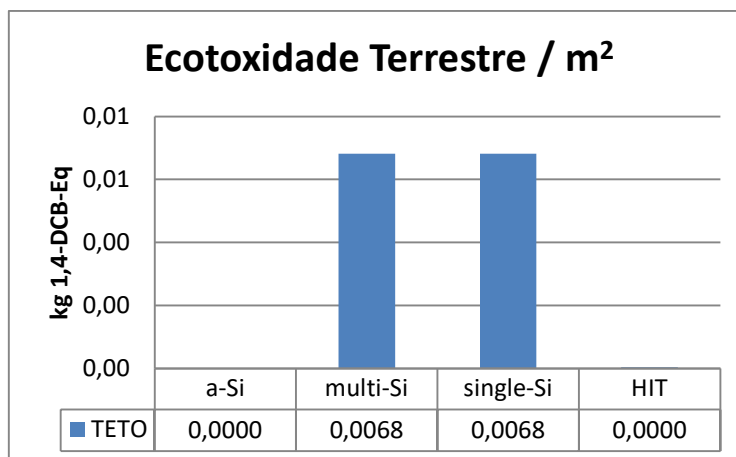
Fonte: Criado pelo Autor

Figura 34 – Gráfico comparativo Acidificação Terrestre / m² – ReCiPe – Impactos



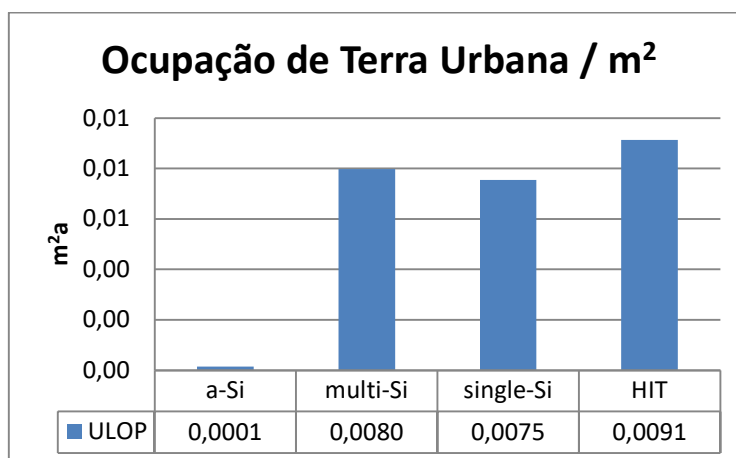
Fonte: Criado pelo Autor

Figura 35 – Gráfico comparativo Ecotoxicidade Terrestre / m² – ReCiPe – Impactos



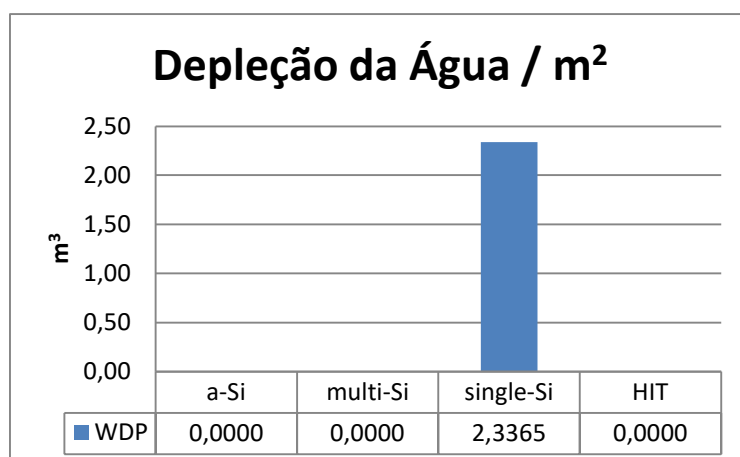
Fonte: Criado pelo Autor

Figura 36 – Gráfico comparativo Ocupação de Terra Urbana / m² – ReCiPe – Impactos



Fonte: Criado pelo Autor

Figura 37 – Gráfico comparativo Depleção da Água / m² – ReCiPe – Impactos

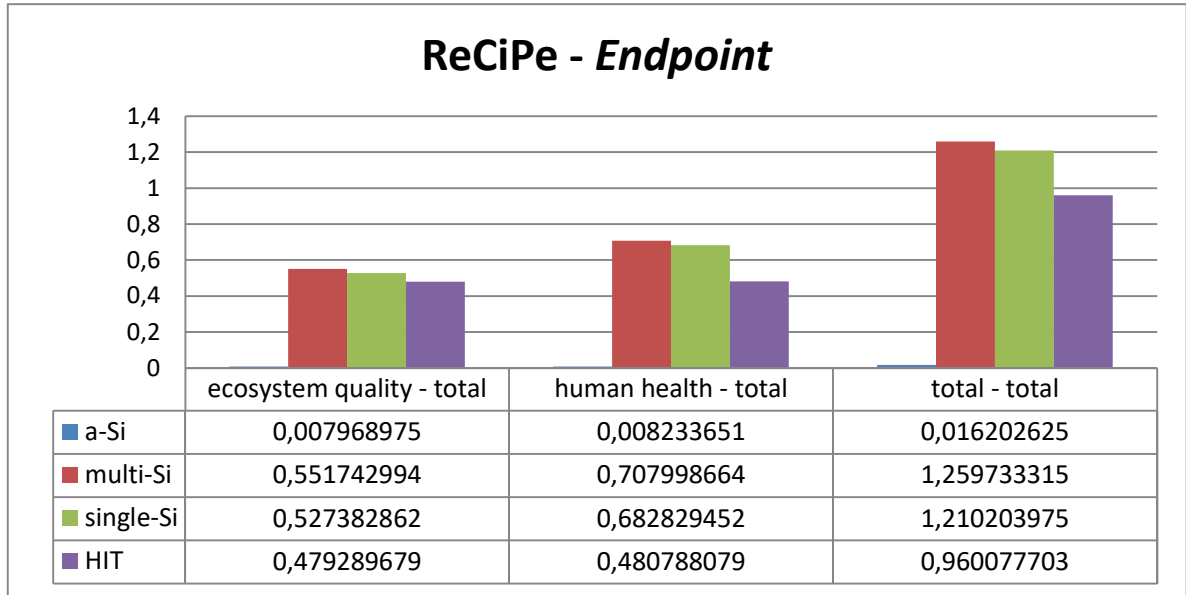


Fonte: Criado pelo Autor

A maior parte dos valores apresentados para os impactos referentes a cada tecnologia nos permite visualizar que o silício Amorfo apresenta um baixíssimo valor de emissão. Este fato se deve à menor quantidade de silício utilizada para a produção do metro quadrado da célula. A espessura de material é muito pequena, o que acarreta na redução de vários processos. De modo semelhante, as células HIT *SmartSilicon* apresentam valores menores em alguns indicadores de impacto ambiental. Essa diferença se deve a que o processo das células HIT *SmartSilicon* não envolve a purificação para gerar o silício policristalino ou monocristalino evitando principalmente gases com efeitos nocivos à saúde humana e reduzindo o consumo de energia. As células de silício monocristalino e policristalino apresentam valores aproximados em alguns indicadores, em função dos processos semelhantes, com a diferença das células monocristalinas apresentarem alguns indicadores distintos em função do processo de formação do monocristal.

A Figura 38 mostra os impactos na saúde humana e na qualidade do ecossistema (*endpoint*) advindos das emissões já consideradas anteriormente (*Midpoint*). Percebe-se que em ambos os casos a célula de silício amorfo apresenta impactos baixíssimos no seu ciclo produtivo. Novamente a grande influência se dá no fato do pequeno consumo de material para confecção da célula. Já a tecnologia HIT *SmartSilicon* apresenta impacto significativamente menor do que as tecnologias de silício policristalino e monocristalino.

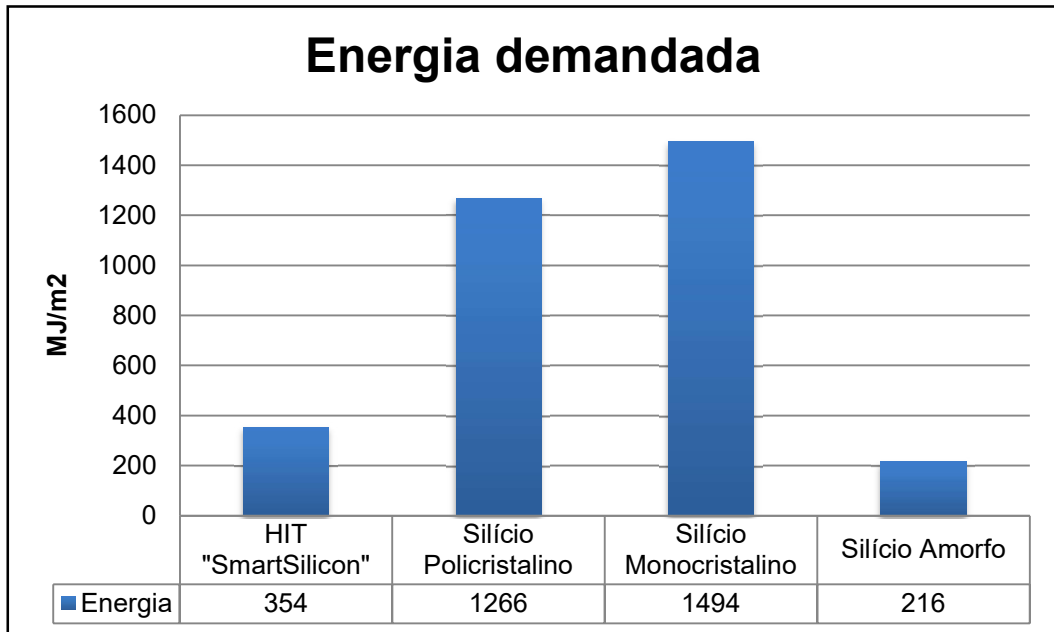
Figura 38 – Gráfico comparativo das tecnologias a-Si, poli-Si, mono-Si e HIT *SmartSilicon* dos impactos ambientais, utilizando a metodologia ReCiPe – *EndPoint*



Fonte: Criado pelo Autor

A Figura 39 mostra o total de energia usada no processo de produção, para cada tipo de célula, em MJ/m². Nas células de silício monocristalino o consumo energético é o mais elevado, em função do seu processo de formação do monocristal exigir elevadas temperaturas. Essa diferença representa um aumento do consumo de energia em 18% da energia demandada pelo Silício Policristalino.

Figura 39 – Energia total demanda nos processos de fabricação das células



Fonte: Criado pelo Autor

A tecnologia HIT *SmartSilicon*, como possui o silício grau metalúrgico como base, ou seja, não realiza a purificação do silício para o grau solar e, ainda, utiliza uma quantidade muito pequena de filme fino em suas células possui um gasto energético menor do que as células de silício monocristalino e policristalino. Esses fatores são os determinantes para que sua demanda de energia na fabricação seja menos de 30% da energia demandada na fabricação da célula policristalina; 354 MJ/m² da célula HIT contra 1266 MJ/m² da célula policristalina e menos de 24% da energia de fabricação da célula monocristalina.

As células de silício amorfo são as que apresentam a menor quantidade de consumo energético por metro quadrado. Mesmo comparando com as células HIT *SmartSilicon* elas apresentam valores significativamente menores. Sua produção consome apenas 61% da energia para a produção de uma mesma quantidade de células da HIT *SmartSilicon*.

Conforme já relatado, os resultados apresentados e analisados não são normalizados. Uma tecnologia como a de filme fino de silício amorfo possui um baixo impacto, principalmente em função de consumir baixa quantidade de silício, no entanto apresenta eficiências muito menores dentre as tecnologias das células comparadas. Além disso, o silício amorfo apresenta uma perda de rendimento acentuado no início do funcionamento e um tempo de vida útil bem menor do que as outras tecnologias. Dessa maneira, os resultados relativos aos impactos ambientais são relativizados quando da proposição da utilização da tecnologia em um novo empreendimento. O menor impacto por metro quadrado, quando normalizado, por exemplo, com a energia gerada acaba aumentando em função de se necessitar de uma maior área de placas para uma mesma quantidade de energia de uma outra tecnologia. Além disso, em função da vida útil reduzida das células, em comparação com as outras tecnologias, haverá a necessidade de trocas dos painéis para se gerar pelo mesmo tempo de um painel de outra tecnologia. Dessa maneira, os impactos para a produção dos painéis devem ser comparados mais de uma vez, quando está se levando em consideração todo o ciclo de vida.

De maneira contrária, conforme apresentado pelos resultados das simulações, as células de silício monocristalino apresentam impactos significativamente maiores e maior consumo energético se comparada com as outras tecnologias fotovoltaicas,

no entanto, a eficiência da célula é a maior de todas, dentre as comparadas. O tempo de vida útil também é o maior de todas. Isso tudo reduz o peso dos impactos resultantes dos processos produtivos, pois, um sistema constituído por essa tecnologia gerará uma maior quantidade de energia, ocupando uma menor área, com as suas células durando mais tempo.

Este trabalho não tem como objetivo essa análise completa de todo o ciclo de vida de forma detalhada. As simulações procuram demonstrar que existem diferenças profundas no processo produtivo e estas podem influenciar no impacto gerado ao meio ambiente, dependendo da tecnologia impactando no licenciamento ambiental.

6.3. Conclusões do Capítulo

As comparações das principais células comerciais (a-Si, mono-Si e Poli-Si) e da tecnologia proposta HIT *SmartSilicon* foram feitas avaliando o desempenho ambiental, comparando os resultados entre elas. Efetuou-se uma comparação dos impactos ambientais associados aos processos de fabricação dessas células utilizando as metodologias usuais neste tipo de estudo, software de uso livre e base de dados de ampla utilização na área.

Os resultados obtidos mostram que as células solares FV de silício amorfo apresentam um processo de produção com reduzidos valores de impactos ambientais, se comparado com outras tecnologias convencionais e com a HIT *SmartSilicon*. Do ponto de vista dos impactos essa tecnologia se torna uma atraente opção de desenvolvimento, no entanto, do ponto de vista da eficiência ela apresenta baixos valores, o que reduz a vantagem. Dessa maneira, devem-se aprofundar os estudos da valoração dos impactos e combinar com a eficiência, analisando sua viabilidade técnica e financeira.

Analisando os resultados obtidos com a tecnologia HIT *SmartSilicon*, em comparação com células policristalinas e monocristalinas convencionais, pode-se inferir que o processo de produção apresenta impactos ambientais significativamente menos agressivos. Ainda, a quantidade de energia utilizada durante o seu processo de fabricação é aproximadamente 70% menor que a utilizada na fabricação da célula de tecnologia policristalina convencional e de quase 80% menor que a utilizada na fabricação da célula monocristalina. Com estes

resultados, pode-se vislumbrar que a célula que utiliza a tecnologia HIT *SmartSilicon* possui um potencial promissor.

É importante ressaltar que a informação sobre a tecnologia HIT *SmartSilicon* é extremamente escassa, limitando-se às publicações do fabricante e inventor (SINHA, 2011, 2013). Vários processos de fabricação não estão ainda disponíveis nas bases de dados utilizadas na área, esses processos foram montados pelo autor. Dessa forma, pode-se dizer que se trata de um estudo preliminar que sinaliza fortemente a necessidade de avaliar o desempenho da nova tecnologia em sistemas FV reais e em diversas condições de operação.

O capítulo 7 apresenta os principais problemas enfrentados pelo licenciamento no Brasil que reduzem a sua eficiência e o torna burocrático. São sugeridos possíveis ações para minimizar os problemas e melhorar a proteção ambiental de uma forma geral. Para a geração fotovoltaica são propostas soluções específicas para agilizar as mudanças de melhoria do licenciamento da atividade.

7. PROBLEMAS ENFRENTADOS NO LICENCIAMENTO AMBIENTAL E PROPOSTAS PARA MELHORIA

7.1. Dificuldades do Licenciamento no Brasil

O tema do licenciamento ambiental no Brasil não é muito pacífico, muito pelo contrário, gera muitas discussões e diversos problemas são encontrados. As dificuldades são normativas, orgânicas, estruturais, de filosofia e até mesmo da característica populacional. Faltam planejamento e definição real dos objetivos do processo de regulação ambiental. A regulação de todo processo ambiental deve ser encarada como uma atividade a ser desenvolvida em conjunto, por todos os entes envolvidos. O que existe é uma postura de competição, punição e inverdades principalmente entre o ente regulador e o empreendedor.

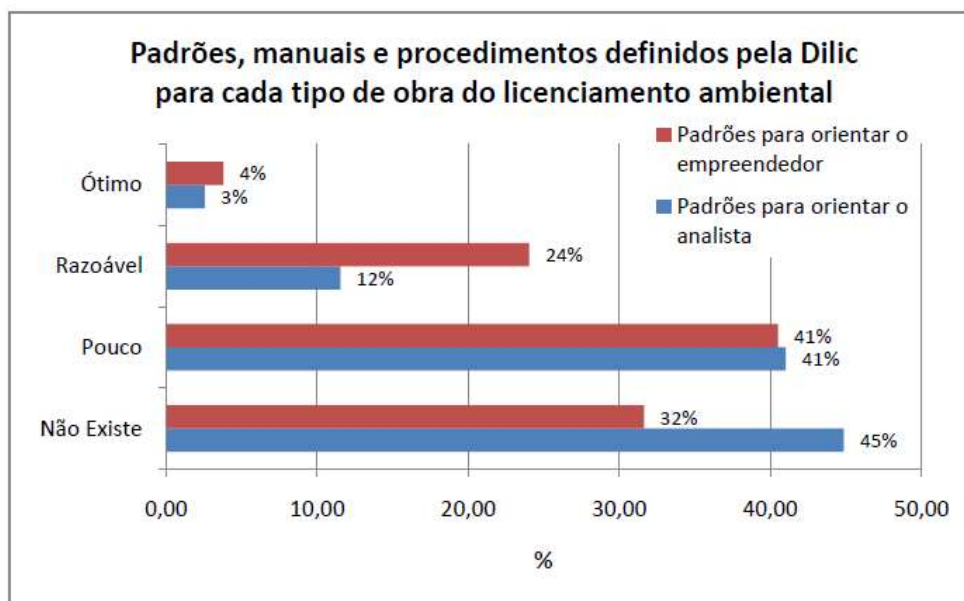
A relação dos problemas é muito grande, cabe ressaltar os principais:

7.1.1. Ausência normativa

O primeiro dos problemas, com grande relevância, é a falta de regulação normativa. O processo de regulação ambiental é discricionário, não havendo normas materiais que deem suporte para o gestor ambiental, ficando a cargo deste a definição dos parâmetros a serem seguidos. Não há comandos claros por parte das normas existentes (VULCANIS, 2010).

Em auditoria realizada no IBAMA (TCU, 2009) verificou-se que o órgão não possui normas específicas dos procedimentos e critérios técnicos e metodológicos adotados no processo de licenciamento ambiental federal para cada tipo de obra. Em 27/05/09 o diretor DILIC (Diretoria de Licenciamento Ambiental) informou que não existiam procedimentos pré-definidos para cada tipologia de obra com vistas a orientar o analista na instrução do processo de licenciamento, nem o empreendedor na elaboração de projetos. Já em entrevista aos analistas da DILIC aproximadamente 73% consideraram que os manuais, procedimentos e orientações ao empreendedor são pouco e/ou inexistente na elaboração de projetos e demais etapas do licenciamento ambiental, Conforme se pode perceber pela figura 40.

Figura 40 – Opinião dos analistas da DILIC sobre os padrões, regras, manuais e procedimentos do licenciamento ambiental para orientar o analista e o empreendedor



Fonte TCU, 2009

A falta de ditames legais reguladores cria em todos os entes envolvidos no processo de licenciamento uma insegurança muito grande, pois as decisões serão pautadas na abstração e ideologia daqueles que realizarão o licenciamento, não havendo garantias de razoabilidade nem de justiça (SECRETARIA DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2009). O planejamento dos investimentos dos empreendedores fica prejudicado, aumentando os riscos e gastos com as atividades a serem empreendidas. Os representantes dos órgãos reguladores não possuem os limites de atuação e cobrança que devem adotar nos processos de licenciamento, gerando insegurança e exageros nas decisões (VULCANIS, 2010). Já o Estado não consegue atingir os objetivos pretendidos com as regulações ambientais, que é proteger o meio ambiente sem impedir o desenvolvimento. A compatibilização do lado do ideal de preservação ao ideal de desenvolvimento fica comprometida. Os próprios profissionais (empresários, consultores, advogados e especialistas da área) com experiência no licenciamento ambiental de empreendimentos de energia relatam essa dificuldade, conforme relatório do VII Fórum Instituto Acende Brasil (2011).

7.1.2. Conflito de competências

Conforme apresentado nos capítulos 4 e 5, o ordenamento jurídico não é muito claro na definição das competências para a regulação ambiental. O interessado deve

solicitar ao órgão ambiental competente para emitir a licença, podendo ser o IBAMA, os Órgãos Estaduais de Meio Ambiente (OEMAs) ou os Órgãos Municipais de Meio Ambiente (OMMAs). No entanto, em situações concretas a distribuição dessa competência gera muita dúvida. A relação normativa não é muito clara e ocasiona discussões acerca de qual esfera é responsável pelo licenciamento.

Nos anos de 1997 a 2004, segundo o Banco Mundial, de um total de 35 empreendimentos hidrelétricos que solicitaram o licenciamento ambiental no Brasil, 1/3 tiveram que transferir seus processos de um órgão estadual para o órgão federal – IBAMA. Observa-se uma tendência de centralizar o licenciamento ambiental no âmbito federal quando houver problemas de interpretação da norma. (INSTITUTO ACENDE BRASIL, 2011)

O problema tem origem na lei 6938/81, que dividiu a competência entre os entes federais, estaduais e municipais, baseado em uma república federativa forte, no entanto, no Brasil essa realidade nunca existiu. Os estados não possuem organização suficiente, com órgãos ambientais estruturados e preparados para tratar as diversas questões surgidas no processo de licenciamentos. Dessa forma, a União intervém constantemente no intuito de suprir essas deficiências. Essas intervenções, como não são regulamentares, se tornam uma fonte de problemas, uma vez que as atuações passam a ser por interesse. Em um país com um processo político ainda frágil, com a presença de corrupção, uma atuação discricionária pode representar possibilidade de desvios e atendimentos a interesses.

Mesmo quando há por parte dos estados federados o interesse pelo licenciamento, pode haver uma concorrência de atuação. Como não há regras que definam as competências de forma clara para licenciar, fiscalizar e punir, há por parte dos órgãos uma atuação desorganizada, criando um ambiente desfavorável para o desenvolvimento dos empreendimentos.

A lei complementar nº140/2011 regulamentou o art. 23 da CF/88, definindo as competências dos entes federativos para o exercício comum da proteção ao meio ambiente e combate à poluição. Mesmo que a ação de fiscalização seja competência de todos os entes federados, essa lei estabeleceu que prevalecerá o auto de infração emitido pelo órgão licenciador. No entanto, em pesquisa realizada pela CNI (2014) revela que em 20 estados há fiscalização por mais de um órgão e,

nesses estados, 14 afirmam que outros órgãos que não o licenciador lavram auto de infração caso constatem infração.

7.1.3. Deficiência de conhecimento técnico científico

Um grande problema, que interfere em diversos momentos do processo de regulação ambiental é a falta de conhecimento de uma forma geral. Esta situação está presente tanto nos órgãos ambientais, quanto nos responsáveis pelos estudos e relatórios de impactos ambientais. Essa falta é sistêmica e conceitual. Não há conhecimento técnico sobre as atividades a serem licenciadas. Não há o desenvolvimento contínuo das informações relativas aos processos a serem regulados. Fica a cargo do fiscal, avaliar as situações, sem um balizamento técnico-científico, se tornando o responsável por criar o conhecimento, pois não há um responsável pela criação deste conhecimento dentro do país. Cria-se dessa maneira, a incerteza com relação à efetividade das medidas adotadas e das exigências para o licenciamento.

Em auditoria realizada no IBAMA (TCU, 2009) foi verificado que não há suficiente metodologia formal para analisar a qualidade dos EIA's apresentados, ou seja, não há por parte dos analistas, informação ou conhecimento instituídos.

Essa falta de conhecimento influencia na qualidade e veracidade dos estudos de impacto ambiental. Sem trabalhos científicos aprofundados dos impactos e sem parâmetros técnicos bem definidos, as conclusões dos relatórios de impactos ambientais feitos pelas empresas contratadas para elaboração dos mesmos ficam com sua credibilidade abalada. A verificação da veracidade e qualidade do documento fica dificultada, uma vez que não há um meio de comparar com algum documento que verse sobre o assunto.

Ainda em referência à auditoria (TCU, 2009), de acordo com os analistas da DILIC, a má qualidade dos estudos ambientais é uma das causas do aumento do número de condicionantes nas licenças ambientais (23% das avaliações). Não há de forma sistematizada uma exposição dos principais problemas dos EIA's. Em 2004 o Ministério Público Federal compilou um documento com as principais deficiências. A partir de uma amostra de oitenta EIAs, foram encontrados problemas pelos analistas do MPF nos diagnósticos ambientais em diversos pontos. As principais se

concentravam nas questões de ordem metodológica e até levantamentos incompletos.

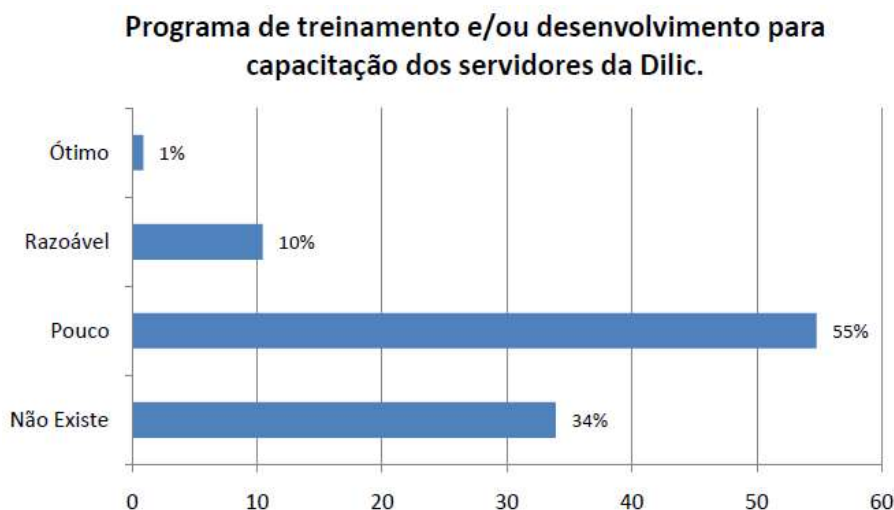
Em um questionário foi enviado para 100 profissionais (empresários, consultores, advogados e especialistas da área) com experiência no licenciamento ambiental de empreendimentos de energia, realizado pelo Instituto Acende um dos fatores que foi indicado como significativo foi:

O baixo nível técnico dos estudos de impacto ambiental, que são devolvidos para complementações em muitos casos elementares, é um fator que dificulta o andamento das análises e gera desconfiança quanto ao cumprimento das condicionantes e recomendações feitas para o empreendimento. O Estudo de Impacto Ambiental não é visto como um estudo prévio que irá garantir a sustentabilidade do empreendimento, mas, sim, como um obstáculo burocrático a ser superado. (INSTITUTO ACENDE BRASIL, 2011, p. 15)

Essa mesma falta de conhecimento, afeta também os entes governamentais, que impelidos das responsabilidades a que os cargos lhe oferecem, sentem-se inseguros para tomar qualquer decisão. Sem documentos científicos que os ajudem a entender as condições dos empreendimentos, tendem a serem mais rigorosos, cheios de ideologias, e mais morosos nas decisões e atuações. Somado a isso se tem ainda a falta de qualificação e especialização dos funcionários dos órgãos ambientais, que muitas das vezes possuem formação diversa da exigida para a análise de alguns empreendimentos.

Na auditoria realizada no IBAMA (TCU, 2009) foi verificado que não existe um programa de treinamento e capacitação para os analistas, nem que estão já trabalhando, nem para aqueles que estão ingressando. Essa situação foi confirmada pelo Diretor que afirmou que a capacitação é realizada de forma esporádica, não planejada, somente por solicitação do analista. Conforme pode-se perceber no gráfico abaixo aproximadamente 90% dos analistas da DILIC pesquisados pela auditoria acreditam que é insuficiente o treinamento para capacitação. O resultado com as respostas dos analistas é apresentado na figura 41.

Figura 41 – Opinião dos analistas pesquisados sobre o programa de capacitação da DILIC



Fonte: TCU, 2009

O edital nº 1 do IBAMA, de 25 de outubro de 2012 para provimento para o cargo de analista ambiental define como competência para o cargo de analista seguinte:

2.2 ATRIBUIÇÕES: planejamento ambiental, organizacional e estratégico afeto à execução das políticas nacionais de meio ambiente formuladas no âmbito da União, em especial as que se relacionam com as seguintes atividades; regulação, controle, fiscalização, licenciamento e auditoria ambiental; monitoramento ambiental; gestão, proteção e controle da qualidade ambiental; ordenamento dos recursos florestais e pesqueiros; conservação dos ecossistemas e das espécies neles inseridas, incluindo seu manejo e proteção; e estímulo e difusão de tecnologias, informação e execução de programas de educação ambiental. (IBAMA, 2012. P. 1)

No entanto a exigência de formação para concorrer ao cargo é a seguinte:

2.1 REQUISITO: diploma, devidamente registrado, de conclusão de curso de graduação de nível superior, fornecido por instituição de ensino reconhecida pelo Ministério da Educação, e registro no órgão de classe específico, quando for o caso. (IBAMA, 2012. P. 1)

Fica claro que não há exigência de uma qualificação para a área ambiental ou aos processos a serem fiscalizados.

Além disso, não há divisão da análise por modalidade de empreendimento e especialidade, em função do número escasso de funcionários, o que dificulta a formação de mão de obra especializada.

Outro problema ligado às informações presentes nos estudos e relatórios de impactos ambientais é a ligação entre a empresa executora do relatório e o interessado no empreendimento. Como há o vínculo contratual entre elas pode haver suspeição dos dados apresentados, das análises e das soluções propostas.

Toda essa situação de ausência de conhecimento especializado gera atrasos importantes no procedimento, com um licenciamento empobrecido e de péssima qualificação. As consequências para o meio ambiente são traumáticas, uma vez que podem ocorrer concessões de licenças que acabam gerando impactos ambientais não previstos e, portanto não mitigados.

7.1.4. Falta transparência

Outro viés que afeta o processo de licenciamento ambiental é o aspecto formal e a questão instrumental. Não há por parte dos órgãos reguladores do processo de licenciamento ambiental transparência com relação às análises dos processos anteriores e acesso às decisões e procedimentos exigidos nos licenciamentos. A infraestrutura não permite que haja acesso às informações de forma fácil e que sirva como orientação a outros processos de licenciamento. São problemas decorrentes da falta de investimento que prejudica a estrutura dos entes governamentais, influenciando nas questões operacionais e gerenciais. Toda a estrutura é defasada e antiga.

Não há um banco de dados com a disponibilização aos interessados dos processos de licenciamento já apresentados, com os motivos de recusa de algumas atividades para servir como embasamento para outros empreendimentos. Não existe um sistema com informações semelhantes às jurisprudências dos processos jurídicos. Essa falta de informação gera muito retrabalho, ineficiência dos processos, atraso na implantação de empreendimentos e mais trabalho até mesmo para os órgãos licenciadores. Dessa maneira, não há ganho de qualidade e conteúdo nos procedimentos, atendendo muitas vezes a aspectos formais e burocráticos.

De acordo com as Orientações para Operacionalização do SISLIC, os únicos relatórios gerados pelo sistema são: a) licenças emitidas por ano; b) licenças emitidas por período; c) quantitativo anual de licenças emitidas por tipo/ano; d) licenças emitidas por ano, estados e municípios.

Além disso, não há uma sistematização das informações disponíveis, de fácil acesso, que pudesse ser consultada para que fosse possível a realização de um controle social das atividades e empreendimentos. O acompanhamento da comunidade fica afetado, uma vez que a preocupação é apenas no atendimento dos aspectos formais do licenciamento, descumprindo dessa forma, o art. 9º da Lei nº 6.938/81, que definiu o licenciamento ambiental como um instrumento público de gestão ambiental.

Toda essa situação provoca a baixa eficácia dos instrumentos e conseqüentemente do licenciamento ambiental.

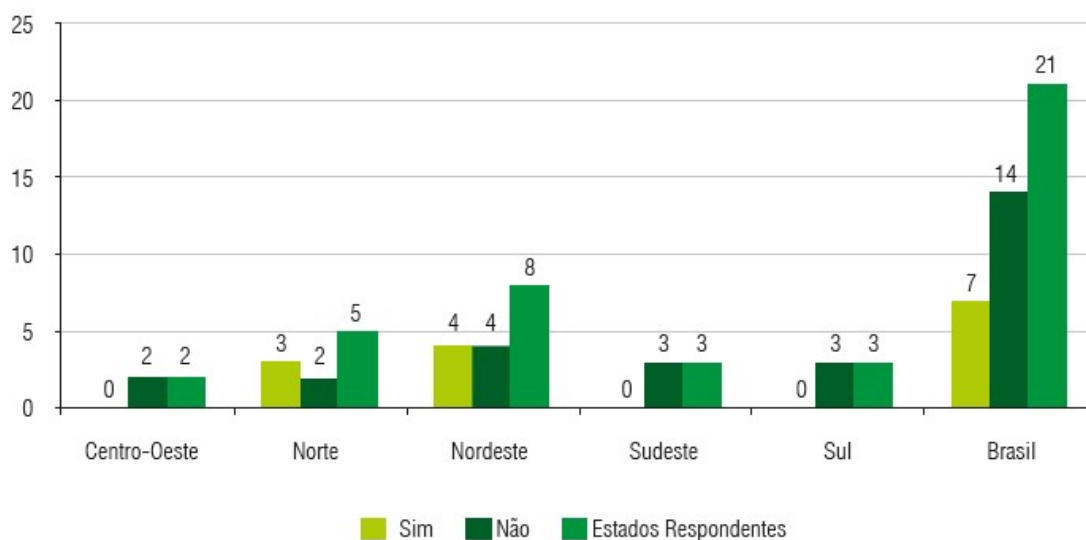
7.1.5. Falta planejamento integrado

Para que haja um bom controle ambiental, este tem que estar vinculado ao planejamento estrutural e econômico da região influenciada. A consideração e o tratamento das influências de determinada atividade em uma região devem ser feitos verificando todos os possíveis empreendimentos que a região pode ou deve receber. Os resultados só serão efetivos se o planejamento das atividades econômicas e estruturais for pensado, considerando a aptidão da região no plano ambiental.

No entanto, não há no Brasil uma avaliação ambiental estratégica integrada, onde sejam consideradas tanto as demandas de crescimento e infraestrutura quanto às opções para mitigar os impactos ambientais e socioeconômicos.

Conforme pesquisa desenvolvida pela CNI em 24 Federações de Indústria Estaduais, 21 responderam a questão se “O licenciamento ambiental leva em conta a vocação/potencial econômico do Estado ou região?” (CNI, 2014). Como resultado, 100% afirmou haver legislações específicas que consideram os biomas e que isso influencia o processo de licenciamento ambiental. No entanto, um pequeno número de estados (7, ou 32%) diz que o licenciamento ambiental leva em conta o potencial econômico ou a vocação da região. O gráfico da figura 42 mostra o resultado das respostas à pergunta.

Figura 42 – O licenciamento ambiental leva em conta a vocação/potencial econômico do Estado ou região?



Fonte: CNI, 2014

O fornecimento das licenças no país não considera a melhor opção para a área em análise com relação às atividades, nem é pensado em relação aos empreendimentos que futuramente serão implantadas. O tratamento das questões ambientais é feita de forma isolada, considerando exclusivamente uma solicitação. Essa análise de um empreendimento individualmente provoca a perda de oportunidade de se desenvolver outra atividade na área que seria mais interessante tanto do ponto de vista do lado econômico quanto do lado ambiental.

O planejamento estratégico tem-se dado de forma desordenada, sem o planejamento do território como um todo. Não há previsão dos possíveis impactos em uma região em função do somatório das atividades e do potencial de cada área. Não há a visão da necessidade de se definir a abrangência do planejamento integrado entre o setor econômico e ambiental e falta delimitação do que está na governança da gestão ambiental em contraposição a instâncias responsáveis pelo processo produtivo.

7.1.6. Não há acompanhamento efetivo posterior ao licenciamento

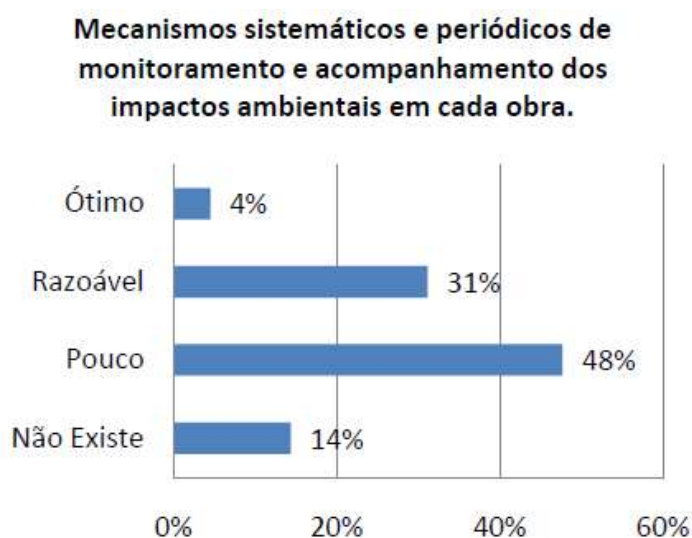
O sistema de controle ambiental no Brasil é todo voltado para o licenciamento das atividades, deixando o acompanhamento à parte. O sistema normativo existente versa na sua maioria sobre os procedimentos para se conseguir as licenças, mas não trata da regulação e checagem das atividades após a obtenção das licenças. O

cuidado maior fica por parte dos procedimentos e burocracias para obtenção das licenças, ficando quase que esquecido o acompanhamento e monitoramento dos empreendimentos licenciados. A preocupação não é com os resultados das medidas solicitadas e os processos de mitigação dos impactos, mas sim com aquelas para as licenças. Há, dessa maneira, poucos dados sobre a efetividade de todo o sistema de regulação ambiental. Somente quando se aproxima da data de renovação da licença de operação é que há uma preocupação com a atividade novamente e se os procedimentos alcançaram algum resultado. No entanto, muitas vezes os resultados nocivos já foram causados e perpetuados por um grande período de tempo.

Como resultado da auditoria realizada no IBAMA, que este órgão não avalia e acompanha sistematicamente os impactos e riscos ambientais das obras licenciadas. O que ficou identificado é que a maior parte dos esforços fica concentrada na preparação de um EIA e à exigência de que o projeto incorpore um extenso programa de mitigação de impactos. Após a aprovação o interesse diminui muito e não há o acompanhamento e se as medidas mitigadoras atingiram seus objetivos de proteção ambiental.

A figura 43 apresenta o resultado, em que uma amostra de 111 questionários aplicados em todas as coordenações da DILIC, 62% dos analistas consideram insuficientes (% de analistas que responderam “pouco” e “não existe” (CNI, 2014)) os mecanismos sistemáticos de acompanhamento dos impactos ambientais em cada obra (3% não responderam).

Figura 43 – Opinião dos analistas da DILIC sobre mecanismos de acompanhamento dos impactos ambientais



Fonte: TCU, 2009

Apesar de o hiato normativo ser um dos responsáveis por essa situação, a principal situação que gera essa falta de acompanhamento é a gestão dos órgãos ambientais. O número de funcionários é escasso para acompanhar todos os empreendimentos licenciados e o foco da gestão é a concessão das licenças. Dessa maneira além da mão de obra ser escassa, grande parte do esforço dos órgãos acaba sendo gasto com a parte inicial do processo.

7.1.7. Consulta a diversos órgãos

O processo de licenciamento no Brasil apresenta ainda uma peculiaridade que o torna ainda mais burocrático, demorada e pouco eficiente, é a falta de centralização dos procedimentos. Há para os licenciamentos a necessidade de se consultar outros órgãos, para que seja emitida a licença, dependendo da localização, ou do tipo de impacto causado. Essa interveniência pode ocorrer inclusive com órgãos de instâncias diferentes. Pode-se citar órgãos responsáveis pela administração das unidades de conservação afetadas, órgãos indigenistas, patrimônio histórico, órgãos de gestão das águas e assim por diante.

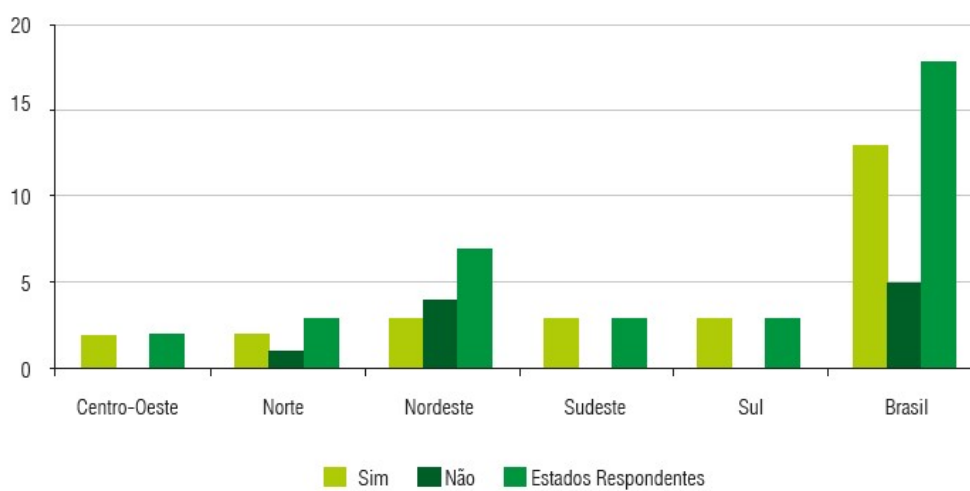
A pesquisa da CNI (2014, p.63) relata:

A consulta a outros órgãos interessados no licenciamento deve ocorrer de forma não vinculantes, de acordo com a LC 140/11. No entanto, 18 estados

respondentes afirmam que o órgão licenciador não emite licença e, na maior parte dos casos, não dá prosseguimento ao processo antes que todos os órgãos consultados se manifestem, independente de cumprimento do prazo estabelecido.

A figura 44 mostra o resultado das respostas à pergunta.

Figura 44 – As consultas a outros órgãos interessados vinculam a decisão do órgão licenciador?



Fonte: CNI, 2014

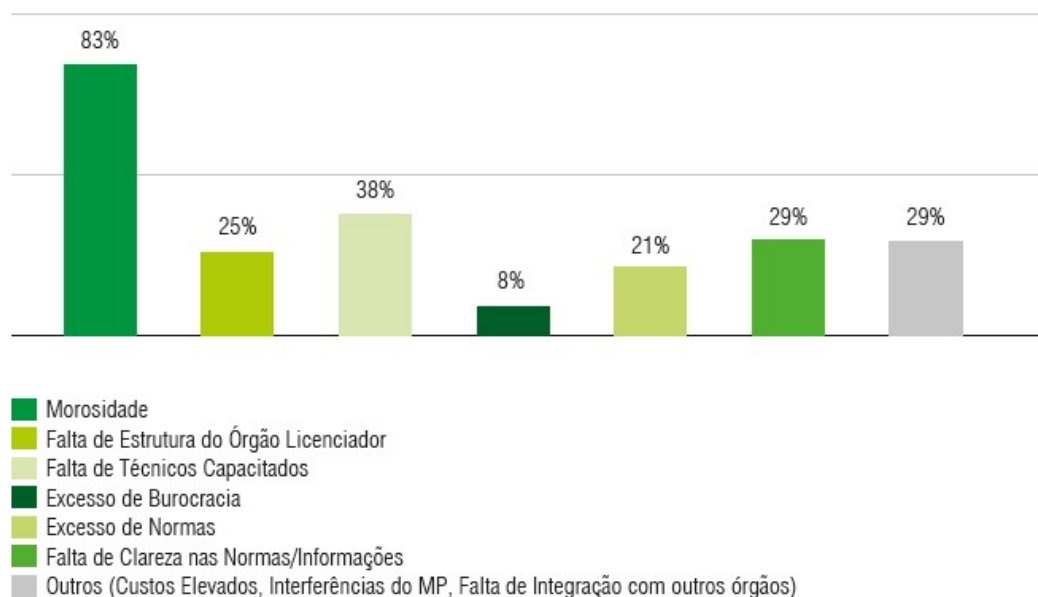
A norma fala que não pode haver dois licenciamentos da mesma atividade, mas o que ocorre na prática é que o empreendedor tem que atender a duas solicitações. No intuito de se criar um órgão especializado em determinado assunto para dar suporte ao licenciamento, o que se criou foi a discordância de ideologias e a insegurança para o investidor, que passa a ter que atender a diversas solicitações de órgãos diferentes para um mesmo empreendimento.

A situação que mais apresenta esse tipo de interferência e causa mais inconveniente é a relativa às unidades de conservação. O órgão responsável pela administração da unidade de conservação afetada recebeu da lei 9985/00 no seu artigo 36 competência para autorizar ou não o licenciamento ambiental.

Quando há essa análise por outras entidades, no licenciamento, o que ocorre é uma divisão da análise, fracionando os impactos, não considerando o todo de forma integrada e sistêmica, podendo levar a decisões distorcidas e pouco efetivas para proteção do meio ambiente.

Ainda conforme a pesquisa da CNI, os principais problemas enfrentados pelo empreendedor no caso do licenciamento ambiental são mostrados na figura 45. Pode-se inferir que os principais citados são os já relatados aqui. O principal deles é consequência do somatório dos outros, ou seja, a morosidade é resultado de todos os entraves proporcionados pelos outros problemas.

Figura 45 – Principais problemas enfrentados no processo de licenciamento no Brasil



Fonte: CNI, 2014

7.2. Possíveis Soluções para os Problemas

7.2.1. Regulamentação dos princípios do direito ambiental

Como medida essencial para tornar o a proteção ambiental efetiva e menos insegura do ponto de vista da sua aplicação, deve-se procurar regulamentar e parametrizar as diversas situações concretas do licenciamento ambiental. As definições devem ser objetivas, não permitindo que fatores não técnicos interfiram nas decisões, tornando o instrumento eficiente e justo.

Como passo inicial deve-se buscar regulamentar e criar os parâmetros para balizar as decisões dos entes envolvidos no processo de licenciamento. Em um ambiente muito discricionário, que é o licenciamento ambiental, é necessário que as normas sejam claras, definindo os limites para determinados impactos ambientais e regulando as atividades mitigadoras. Os ditames legais têm que ser claros para impedir que ideologias radicais influenciem as decisões dos órgãos ambientais. As

normas complementares previstas tanto na CF/88, quanto em outras leis devem ser confeccionadas para dirimir dúvidas e aumentar a segurança de todo processo.

A proposição de novas normas, no entanto, necessitaria de um grande esforço legislativo, uma vez que existem poucas normas definidoras destes parâmetros. Haveria a necessidade de se licenciar cada uma das atividades, tornando o trabalho muito árduo e demorado. No entanto, a solução apresentada no capítulo 7.2.2 minimizaria muito a necessidade dessas leis, investindo na institucionalização do conhecimento.

Outra questão a ser melhorada é a definição das competências para acompanhar o licenciamento, pois a distribuição de competências realizadas atualmente gera dúvidas. Devem-se aprovar normas que definam de forma objetiva essas competências comuns da União, dos Estados e dos Municípios responsabilizando os órgãos ambientais de cada um deles, tanto no âmbito administrativo, quanto normativo.

A lei complementar nº140/2011 iniciou o processo de definição das competências dos entes federativos para o exercício comum da proteção ao meio ambiente e combate à poluição. No entanto, há ainda o conflito, com interferência de um ente na ceara do outro, principalmente nas emissões de multas. Deve-se estruturar a repartição das competências, padronizando a normatização, respeitando a divisão e a hierarquia federativa.

Essa divisão deve ser feita considerando as limitações dos Estados e dos órgãos envolvidos. Com isso, temos a oportunidade de transformar a disputa entre órgãos ambientais em uma colaboração eficiente, bem como de reconhecer a importância de participação mais ativa dos estados e municípios no exercício do poder de polícia, para licenciar, fiscalizar e punir.

Além da criação dos conceitos e parâmetros orientadores das decisões, deve-se buscar a padronização das normas entre os Estados, para que seja mais fácil a fiscalização por parte dos órgãos competentes e reduza a insegurança do empreendedor. Além disso, a uniformização reduziria a concorrência entre os estados, dando importância para o que realmente interessa, ou seja, a proteção ambiental.

Essas regulamentações e parametrizações do licenciamento ambiental devem objetivar a legalização de regras que simplifiquem, racionalizem e tornem todo o processo mais transparente para os investidores e para a sociedade, facilitando a confirmação da eficácia de todo o procedimento. Tudo isso traria como grande vantagem, ainda, a redução da ingerência política e o atendimento aos interesses individuais sobre o processo de licenciamento, diminuindo, ou até mesmo impedindo os desvios nas discussões sobre impactos ambientais do empreendimento e sobre o interesse do País. Concomitantemente, reduziria os atrasos ocasionados pelos excessos burocráticos sem com isso prejudicar a efetividade dos resultados do processo de controle ambiental.

7.2.2. Institucionalização do conhecimento

Uma solução interessante que poderia minimizar diversos problemas na regulação ambiental seria o desenvolvimento do conhecimento sobre as atividades a serem licenciadas de forma independente e mais aprofundadas. Seria uma aproximação da organização do licenciamento ambiental brasileiro com o alemão. Essa aproximação é interessante na desvinculação do responsável pelos estudos de impacto ambiental dos empreendedores que pretendem o licenciamento e passando para um órgão independente. O novo responsável, como na Alemanha, ficaria a cargo do desenvolvimento do conhecimento sobre as atividades a serem licenciadas como um todo, sendo os detentores do conhecimento. Estes seriam responsáveis não só pelos estudos de impacto ambientais, mas sobre toda a atividade, como a TÜV alemã.

Os órgãos de regulação ambiental assumiriam o papel de auxiliares dos empreendedores no desenvolvimento das atividades, objetivando alcançar o que seria solicitado nos relatórios de impactos ambientais. Haveria assim uma sinergia entre o empreendedor e o fiscal. A criação desse ente não retiraria o poder dos órgãos ambientais para licenciar, pelo contrário, daria oportunidade destes se dedicarem ao acompanhamento mais próximo dos empreendimentos, realizando uma regulação e fiscalização mais apurada, seguindo a técnica desenvolvida pelos especialistas da área.

Todo o processo de regulação ambiental poderia ser centralizado, eliminando o problema da necessidade de consulta a mais de um órgão regulador para a

liberação da licença ambiental. As definições técnicas não seriam discutidas no momento do fornecimento da licença, elas já estariam postas e um único órgão ficaria responsável apenas pela garantia do cumprimento do que foi exigido tanto da parte de procedimento quanto de ações mitigadoras. Essa divisão possibilitaria ao fiscal do órgão regulador acompanhar também o empreendimento após o fornecimento da licença de operação, se estão efetivas as medidas e se as empresas estão cumprindo o especificado no licenciamento.

A implementação de um órgão independente, com a função do desenvolvimento de conhecimento, reduziria outro problema, já relatado, que é a falta de norma regulamentadora. Este órgão seria o responsável pela definição dos parâmetros para o licenciamento. Os estudos desenvolvidos e os critérios criados pelos trabalhos científicos reduziram o peso da falta das normas, uma vez que as leis não precisariam versar sobre todos os tipos de atividade detalhadamente, fixando apenas nas questões organizacionais e de competência.

Tudo isso reduziria a influência política no processo de licenciamento, passando a responsabilidade da definição para pessoas ou instituições com notável conhecimento científico, deslocando a discussão para a seara técnica, reduzindo a pressão nos órgãos reguladores. Além disso, estes entes, com o conhecimento técnico, responderiam pelos resultados dos seus estudos, devendo responder inclusive pelas consequências após a liberação da licença de operação, confirmando a efetividade das medidas reguladas e solicitadas.

7.2.3. Resgatar os objetivos da proteção ambiental

A proteção ambiental deve ser vista de forma sistêmica na sociedade, buscando afirmar os princípios do direito ambiental, pautado no processo de licenciamento integrado com o desenvolvimento econômico e estrutural da sociedade. Deve-se buscar antes de tudo o desenvolvimento, mas este acompanhado da sustentabilidade e com a participação popular.

Para que essas medidas sejam possíveis, o processo de avaliação ambiental deve estar integrado às obras prioritárias de infraestrutura do país e as necessidades de crescimento das áreas. Para isso deve-se criar uma instituição ou um órgão, com poderes para elaborar um plano de avaliação ambiental estratégico e integrado,

voltado para orientar as obras de infraestrutura, cada um em seu grau, considerando as implicações ambientais. A estruturação se daria semelhante ao que o EPE realiza, no entanto com uma visão inversa. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) realiza o planejamento estratégico partindo do viés econômico, considerando os impactos ambientais. Essa nova visão e planejamento partiriam do planejamento ambiental para o econômico. Dessa forma o desenvolvimento aconteceria de forma estruturada e orgânica, com a consideração dos dois vieses interpretativos, havendo o atendimento ao desenvolvimento sem prejudicar o meio ambiente.

Além da mudança estrutural da organização ambiental, deve haver uma mudança filosófica. Os entes envolvidos no processo de regulação ambiental devem interagir de forma harmônica, cooperativa, sem se considerarem adversários, em uma disputa na busca pela razão, mas sim em uma atividade conjunta para a implantação de um empreendimento com o menor impacto possível. Os procedimentos dos órgãos reguladores devem estar voltados para o auxílio das empresas a atenderem aos preceitos definidos pelos estudos de impacto ambiental. Já as empresas empreendedoras devem voltar o foco para que as atividades solicitadas sejam realmente efetivas, e não apenas atenderem a processos burocráticos. Deve haver uma mudança de postura dos envolvidos no processo de licenciamento.

Outra mudança a ser planejada é o maior acompanhamento dos resultados do licenciamento. O processo de regulação ambiental não pode findar na licença de operação, pois a efetividade das ações devem ser confirmadas e acompanhadas. Além disso, as informações nos estudos de impactos devem ser checadas ao longo do funcionamento dos empreendimentos, com verificações constantes. Somente assim será alcançada a verdadeira proteção do meio ambiente e o objetivo do licenciamento ambiental.

7.3. Propostas para o Licenciamento na Cadeia Fotovoltaica

O licenciamento ambiental de uma nova atividade, como é o caso da geração de energia fotovoltaica, apresenta como principais problemas, a falta de informação, dados e previsão legal para uma efetiva proteção do meio ambiente. Analisando particularmente a tecnologia fotovoltaica, o licenciamento deve ser visto a partir de

duas etapas: da produção dos painéis fotovoltaicos e da implantação das usinas geradoras. Entretanto, o que se verifica na prática é uma desvinculação da análise da implantação da usina com relação à fabricação dos módulos fotovoltaicos. A maior preocupação está nos impactos gerados pela instalação da usina de geração, sem considerar com isso nos estudos a tecnologia com seu rastro de impactos no processo produtivo.

As propostas de soluções para os problemas encontrados no licenciamento ambiental, apresentadas no capítulo 7.2, possuem um grande potencial de serem efetivas, no entanto, em função do porte e da profundidade das mudanças, necessitam de um longo prazo para planejar, maturar e implantar. No caso do licenciamento da geração elétrica através da tecnologia fotovoltaica, as proposições devem possuir prazo para implantação e resultados menores, pois sua implantação já é uma realidade e necessita de soluções de médio para curto prazo.

Analisando o processo produtivo, a principal proposição seria o desenvolvimento do conhecimento das etapas produtivas, no que tange aos impactos ambientais. Deve-se buscar uma instituição que possua estrutura para estudar cada etapa, como uma universidade, criando uma análise geral da situação, e possibilitando a instituição de um marco regulatório para o setor. Estudos detalhados de cada etapa de fabricação das células fotovoltaicas, levantando todos os possíveis problemas, os impactos e as melhores soluções para mitigar estas interferências no meio ambiente.

Estes estudos devem também buscar adequar a tecnologia ao ambiente a ser instalado, identificando as melhores áreas, com maiores potenciais para cada uma das atividades presentes no ciclo produtivo dos painéis e para a sua instalação, que apresentarão os menores impactos ambientais. O objetivo deve ser atingir a essência do licenciamento ambiental, que é a escolha da melhor opção de desenvolvimento para uma determinada área, de forma sustentável, com os menores impactos possíveis ao meio ambiente. Dessa maneira, devem estar disponíveis para os empreendedores um planejamento macro do ambiente para balizar suas decisões.

Os resultados desses estudos devem ser documentos compendiados, com os indicativos de áreas com potencial para o desenvolvimento das atividades, que são menos susceptíveis aos impactos gerados, garantindo a segurança ambiental não

só para a o investidor, mas também para a sociedade, que terá informação para fiscalizar e acompanhar os procedimentos ambientais.

A análise da instalação das usinas fotovoltaicas passa pela consideração e comparações realizadas no capítulo 6. Nessa fase a variedade dos impactos diretos é menor do que na fabricação dos módulos, no entanto, conforme verificado na análise dos ciclos de vida das tecnologias fotovoltaicas, a escolha do tipo de painel implantado é muito mais profunda e vai agregar impactos à implantação da usina também.

O licenciamento da implantação de uma usina tem que ser feito considerando muito mais do que apenas o porte de geração da mesma. A análise deve ser holística, com visão de toda a cadeia do processo. O tipo de célula escolhida para compor a instalação vai influenciar muito nos impactos e nas considerações que devem ser feitas.

No capítulo 6, analisando apenas o *Endpoint*, pode-se concluir que o impacto advindo da fabricação de cada módulo é muito diferente. Não justifica a utilização e o incentivo de uma tecnologia que possui um rastro de impactos ambientais grande, igualando no momento de instalação apenas pelo porte de geração de energia elétrica.

Nas comparações os impactos de *Endpoint* para as células de silício amorfo são muito menores no seu ciclo produtivo do que as células de silício monocristalino, policristalino e HIT *SmartSilicon*. Há um menor consumo de matéria prima e energia para a produção de uma mesma quantidade das outras células, no entanto, sua eficiência é a menor de todas e exigiria uma maior ocupação de área na implantação da usina geradora. De modo inverso as células de silício policristalino e monocristalino apresentam os maiores impactos no *Endpoint* (1,21 pts e 1,26 pts respectivamente) e consumo energético (1266kJ e 1494kJ respectivamente), no entanto apresentam as maiores eficiências de geração.

Dessa maneira, não se justifica licenciar igualmente duas tecnologias diferentes a serem implantadas, pois pode incentivar uma que pode ser mais prejudicial para o meio ambiente do que os benefícios a que ela se propõe a atender. O tipo de célula fotovoltaica deve ser considerado no estudo de impacto ambiental para que o

licenciamento atinja seu objetivo de forma eficiente. Deve ocorrer uma ponderação e valoração no cálculo do *Endpoint*, levando em consideração as fragilidades e peculiaridades dos locais a serem impactados. Essa valoração deve ocorrer em todo o ciclo de vida da tecnologia. As comparações realizadas no capítulo 6 foram feitas apenas do processo produtivo das células fotovoltaicas. No processo de licenciamento da usina fotovoltaica, o LCA deve ser feito de toda a cadeia, incluído a implantação e o descomissionamento, para posteriormente realizar a valoração de tudo.

Deve-se como forma de medição e controle das instalações conjugar o porte das usinas com o LCIA da tecnologia, valorando os resultados dos impactos e confirmando os benefícios e adequação da utilização de determinada tecnologia. O LCA pode gerar a visão global do empreendimento e ajudar no planejamento ambiental e econômico.

Da mesma maneira que o planejamento ambiental deve possuir uma integração com os planejamentos econômicos e estruturais. O licenciamento de uma atividade não pode estar desvinculado do processo produtivo que gerou aquela tecnologia, ou seja, não devem ser analisados individualmente.

Dessa maneira a escolha da tecnologia presente nas células fotovoltaicas deve estar presente no estudo de impactos ambientais e no relatório de impacto ambiental em um empreendimento de geração de energia fotovoltaica. Tudo isso balizado por uma comparação através do estudo do ciclo de vida. As tecnologias que possuem menores impactos ambientais devem ser incentivadas em detrimento das mais poluentes. Essa atitude aumenta a efetividade no controle ambiental de toda a atividade.

7.4. Considerações Finais do Capítulo

Este capítulo apresentou as principais dificuldades do processo de licenciamento brasileiro e foram sugeridas possíveis soluções. Primeiramente foram apresentados os problemas de ordem normativa e de definição de competências, detalhando a ausência normativa em alguns casos e a necessidade de regulamentação em outros. Posteriormente apresentou-se a deficiência do conhecimento sobre os processos e impactos ambientais das atividades. Foi relatado também a falta de

transparência do processo de licenciamento, com a ausência de um banco de informações e experiências. Foi ainda explicitado a falta de planejamento do processo de licenciamento, integrado com o planejamento estrutural e econômico. Ainda foi levantada a falta de acompanhamento das atividades após o fornecimento das licenças. Por fim, como apresentação dos problemas, foi discutido a necessidade de consulta a mais de um órgão no processo de licenciamento de algumas atividades. Como possíveis soluções para as dificuldades elencadas, foram propostas 3 medidas para mitigar os problemas, ou até mesmo resolve-los. Foi sugerida a necessidade de se regulamentar o processo de licenciamento, com a proposição de normas regulamentadores e de definição de parâmetros e competências para o licenciamento. Foi proposta a necessidade de se institucionalizar o conhecimento, delegando a função de se criar e organizar o conhecimento a uma instituição independente. Por ultimo, foi sugerida a necessidade de se resgatar os objetivos da proteção ambiental, com o planejamento da proteção ambiental com o desenvolvimento econômico. Uma visão partindo do meio ambiente para a decisão econômica.

Como abordagem específica do sistema de geração fotovoltaica, foi proposta uma visão do processo de licenciamento mais global, com a consideração de todo o ciclo de vida da tecnologia. A consideração no momento da instalação deve ser com a visão dos impactos gerados em toda a cadeia. Foi sugerida como forma de se garantir essa análise a inserção de um estudo de LCA para o licenciamento da instalação da usina fotovoltaica.

8. CONCLUSÃO

O trabalho apresentou aspectos legais e ambientais da geração fotovoltaica focado nos problemas encontrados tanto de ordem estruturais, quanto orgânicos, propondo algumas soluções para os principais empecilhos para um correto licenciamento ambiental. Foi feito um apanhado das possíveis situações, tanto no plano legal, quanto burocrático que investidores interessados na produção de células fotovoltaicas poderão encontrar no Brasil no que diz respeito ao licenciamento ambiental. Foram expostas a organização do direito brasileiro, as leis e a distribuição hierárquica de competências. Também foram mostrados os impactos ambientais da produção de uma forma descritiva, demonstrando a necessidade do licenciamento. Além disso, os aspectos normativos foram correlacionados aos impactos, a fim de esclarecer responsabilidades e competências no processo de licenciamento ambiental e identificar os possíveis problemas e empecilhos.

O trabalho contribui na análise dos potenciais gargalos no processo de licenciamento ambiental. Foram relatados três aspectos: (1) falta de clareza das normas na definição dos termos e parâmetros a serem seguidos, para um processo de licenciamento ambiental; (2) não é nítida a competência para organizar, regular e fiscalizar, o que gera conflito e dúvida a respeito de qual órgão será responsável pelo licenciamento; (3) a organização da estrutura de controle do meio ambiente é deficitária tanto no aspecto de conhecimento, quanto em infraestrutura. Tudo isso contribui para tornar o processo ineficiente, moroso, burocrático e com possibilidade de atender a interesses pessoais.

Diante dos problemas expostos, foram propostas algumas medidas que auxiliariam o processo de licenciamento como um todo, embasado em três pilares: 1) Melhorando a normatização, com a definição mais objetiva de competências e parâmetros do licenciamento; 2) institucionalização do conhecimento, com a definição de um ente responsável pelo desenvolvimento do conhecimento e elaboração dos estudos de impactos ambientais; 3) Resgate dos princípios do licenciamento ambiental, planejando o processo de controle ambiental e buscando atingir a proteção ambiental com o desenvolvimento econômico.

Como continuidade dos estudos é necessário que seja realizado a valoração dos impactos ambientais nos cálculos dos *Endpoints* advindos do processo de

fabricação das células fotovoltaicas, assim como no ciclo completo, abordando também a montagem das usinas. Para tornar os resultados aplicáveis em futuras decisões de investimentos, deve-se realizar as comparações de forma linearizada e normalizada, levando-se em consideração a eficiência, a vida útil de cada uma das tecnologias e os tipos de elementos que compõe o sistema montado, como os inversores, conexões e cabos. Além disso, deve-se realizar uma comparação com outras fontes de geração de energia para mensurar o verdadeiro benefício ambiental da utilização dessa fonte energética.

Concomitantemente, se faz necessária a continuidade da análise normativa buscando sistematizar o processo de licenciamento e determinar de forma mais clara e prática os parâmetros técnicos a serem considerados em um possível novo empreendimento fotovoltaico. Ademais, é importante entender se os parâmetros impostos pelas normas são realmente eficientes para reduzir os impactos ao meio ambiente ou apenas um empecilho burocrático ao estabelecimento da tecnologia.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABERLE, A. 2009. Thin-film solar cells. Thin solid films. s.l. : **Scopus (elsevier)**, Vol. 517, p. 4706–4710, 2009.

ACERO, A. P., RODRÍGUEZ, C. e CIROTH, A. Impact assessment methods in Life Cycle Assessment and. OpenLCA. 1 de April de 2014. Disponível em: <<http://www.openlca.org/documents/14826/3bbaecf3-5efa-4a00-a965-4dc91c25b531>>. Acesso em: 12 de março de 2015.

BLUE SOL. Energia Solar: Como Funciona? – Tipos de Células Fotovoltaicas. 27 de janeiro de 2012. Disponível em: <<http://www.blue-sol.com/energia-solar/energia-solar-como-funciona-tipos-de-celulas-fotovoltaicas/>>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2015.

BP. Statistical Review of World Energy, Junho de 2011. Disponível em: <www.bp.com/content/dam/bp-country/de-de/PDFs/brochures/statistical_review_of_world_energy_full_report_2011.pdf>

BRANDT, W. et al. **Manual de normas e procedimentos para licenciamento ambiental no setor de extração Mineral**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente 2001. 127 p.

BRASIL. Constituição Federal (1988). **Constituição da Republica Federativa do Brasil**: Promulgada em 5 de outubro de 1988. 46. ed. São Paulo: Saraiva, 2014. 440 p.

BRASIL. **Decreto n. 99.274**, de 6 de junho de 1990. Regulamenta a Lei nº 6.902 de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/d99274.htm>. Acesso em 18 de novembro de 2014.

BRASIL. **Decreto n. 6.514**, de 22 de julho de 2008. Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências. Disponível em: <

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/D6514.htm>.

Acesso em 20 de novembro de 2014.

BRASIL. **Lei Federal nº 12.651**, de 25 de maio 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938 / 81, 9.393 / 96, e 11.428 / 2006; revoga as Leis nos 4.771 / 65, e 7.754 / 89, e a Medida Provisória no 2.166-67 / 2001; e dá outras providências. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em 20 de novembro de 2014.

BRASIL. **Lei Federal nº 6.938**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em 18 de setembro de 2014.

BRASIL. **Lei Federal nº 7.347**, de 24 de julho de 1985. Disciplina a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio-ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7347orig.htm>. Acesso em 18 de setembro de 2014.

BRASIL. **Lei Federal nº 7.803**, de 18 de julho de 1989. Altera a redação da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e revoga as Leis nºs 6.535, de 15 de junho de 1978, e 7.511, de 7 de julho de 1986. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7803.htm>. Acesso em 18 de setembro de 2014.

BRASIL. **Lei Federal nº 9.605**, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/leis/L9605.htm>. Acesso em 20 de setembro de 2014.

BRASIL. **Lei Federal nº 9.985**, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o Art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/CCivil_03/LEIS/L9985.htm>. Acesso em 20 de setembro de 2014.

BRASIL. **Resolução CONAMA Nº 001**, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em 17 de setembro de 2014.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 237**, de 19 de dezembro de 1997. Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>>. Acesso em 15 de setembro de 2014.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 279**, de 27 de julho de 2001. Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=277>>. Acesso em 15 de setembro de 2014.

CAVALCANTI, R. D. S. Licenciamento ambiental municipal e cooperação com os demais entes. **Boletim Jurídico**. 24 de maio de 2012. Disponível em: <<http://www.boletimjuridico.com.br/m/texto.asp?id=2543>>. Acesso em: 12 de novembro de 2014.

CECCAROLI, B.; LOHNE, O. Solar Grade Silicon Feedstock. **Handbook of Photovoltaic Science and Engineering**. s.l. : John Wiley & Sons, 2003. p. 153-204.

CECCAROLI, B.; LOHNE, O. Solar Grade Silicon Feedstock. **Handbook of Photovoltaic Science and Engineering**. 2 ed. Chichester : John Wiley & Sons, Ltd, 2010. p. 169-217.

CGEE. **Energia solar fotovoltaica no Brasil: subsídios para tomada de decisão**. Brasília - DF : Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010. 42 p.

CHEPESIUK, R. Where de Chips Fall: Environmental Health in the Semiconductor Industry. **Environmental Health Perspectives**. number 9, v. 107, 1999, p. 452-457.

CIFTJA, A., Refining and Recycling of Silicon: A Review. [Research report] **Fakultet for naturvitenskap og teknologi**, 2008.

CISZEK, T.F., *et al.* 2002. Float-Zone and Czochralski Crystal Growth and Diagnostic Solar Cell Evaluation of a New Solar-Grade Feedstock Source. In: 29th IEEE PV Specialists, 2002, New Orleans, Louisiana: National Renewable Energy Laboratory, 2002. p. 210-213.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. Licenciamento ambiental: propostas para aperfeiçoamento. **Mapa Estratégico da Indústria 2013-2022**, 2014. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww2.fiescnet.com.br%2Fweb%2Frecursos%2FVU_VSR05EWTBNZz09&ei=yIWYVZSeNoeNNoWygfAO&usg=AFQjCNGCMjn2BK_B_YQiZtBdtfbljyv_Q&sig2=QBzbC8iP4cKPT7bGcokO0w&bvm=bv.96952980,d.eXY&cad=rja>. Acesso em: 26 de março de 2015.

CONAMA. SISNAMA - Sistema Nacional do Meio Ambiente. *Conselho Nacional Do Meio Ambiente*. **MMA**, 2012. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/estr1.cfm>>. Acesso em 15 de novembro de 2015.

CONJUR/MMA. **PARECER N° 312** de 2004. Conflito de competência para licenciamento ambiental. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ibama.gov.br%2Flicenciamento%2Fmodulos%2Farquivo.php%3Fcod_arqweb%3Dpar312&ei=4L6UVamzOoingwTM0IOYAw&usg=AFQjCNGX3MmKR7jclUm34bDTrmjd_KOoug&sig2=I0DBYirHgnMVvcLq3iWQ8g&bvm=bv.96952980,d.eXY&cad=rja>. Acesso em 21 de janeiro de 2015.

DERÍSIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 2ª Edição. São Paulo : Signus, 2000.

DINIZ, M. H. **Compêndio da introdução à ciência do direito**. São Paulo : Saraiva, 2008.

MILARÉ, E. **Direito do Ambiente**. 3ª Ed, São Paulo: Revista dos Tribunais, 2014.

DOERING, R.; N., Yoshio. **Handbook of semiconductor manufacturing technology**. 2ª ed. Portland : CRC Press, 2007. 1720 p.

ENERGY.GOV. Amorphous Silicon. **U.S. Department Of Energy**. Disponível em: <<http://energy.gov/eere/sunshot/amorphous-silicon>>. Acesso em 07 de abril de 2015.

ENVIRONMENT CANADA. Assessment of the Environmental Performance of Solar Photovoltaic Technologies. Disponível em: <http://www.ec.gc.ca/scitech/B53B14DE-034C-457B-8B2B-39AFCFED04E6/ForContractor_721_Solar_Photovoltaic_Technology_e_09%20FINAL-update%202-s.pdf>. Acesso em: 23 de novembro de 2014. PWGSC, 2010. ISBN 978-1-100-21269-2.

EPA - United States Environmental Protection Agency. Life Cycle Assessment (LCA). 2011. Disponível em: < <http://www2.epa.gov/region8/national-environmental-policy-act>>. Acesso em 12 de fevereiro de 2015.

EPA - United States Environmental Protection Agency. Life Cycle Assessment (LCA). May de 2006. Disponível em: <<http://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P1000L86.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2006+Thru+2010&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&>>. Acesso em 12 de fevereiro de 2015.

EPIA. Global market outlook for photovoltaics until 2014. Janeiro de 2011. Disponível em: <http://www.epia.org/fileadmin/EPIA_docs/public/Global_Market_Outlook>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2015.

FIORILLO, C. A. P. **Curso de direito ambiental brasileiro**. 8. ed. rev., atual e ampl. São Paulo : Saraiva, 2007.

GHENSEV, A. 2006. **Materiais e Processos de Fabricação de Células Fotovoltaicas**. 2006. Disponível em: < http://www.solenerg.com.br/files/monografia_almir.pdf>. Acesso em 18 de novembro de 2014.

GOEDKOOPE, M., *et al.* 2013. **ReCiPe 2008 - A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level.** 2013. First edition (version 1.08). 126 p.

GOETZBERGER, A.; HEBLING, C. M. Photovoltaic materials, past, present, future. [ed.] C.M. Lampert. **Solar Energy Materials and Solar Cells.** v. 62. p. 1-19, 2000.

GOETZBERGER, A.; KNOBLOCH, J.; VOSS, B. **Crystalline Silicon Solar Cells.** USA: John Wiley & Sons Inc., 1998. 238 p.

GRE - Green Rhino Energy. PV Manufacturing. Disponível em: <http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv_manufacturing.php>. Acesso em: 15 de novembro de 2014.

GREEN, M. A., *et al.* Solar cell efficiency tables (version 37). Progress in Photovoltaics: Research and Applications v. 19. P. 84-92, 2011.

GREEN, M. A. Crystalline and thin-film silicon solar cells: state of the art and future potential. **Solar Energy.** v. 74. p. 181–192, 2003.

HAMILTON, J. **Careers in Solar Power.** Washington, DC : U.S. BUREAU OF LABOR STATISTICS, 2011. Part 2.

Hemlock Semiconductor. From quartz rock to electronic circuits. Disponível em: <http://www.hscpoly.com/content/hsc_prod/manufacturing_overview.aspx>. Acessado em: 12 de março de 2015.

HG Legal Resources. Environmental and Natural Resources Law. 2013. Disponível em: <<http://www.hg.org/environ.html>>. Acessado em 18 de maio de 2015.

HOFFMANN, W. PV solar electricity industry: market growth and perspective. **Solar energy materials and solar cells.** Elsevier, v. 90. 2006.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais. **Edital Nº 1, de 25 de Outubro de 2012.** Concurso Público para Provimento de Vagas no Cargo de Analista Ambiental. Disponível em: <http://www.cespe.unb.br/concursos/ibama_12_analista_ambiental/arquivos/ed_1_2_012_ibama_analista_abt.pdf> Acessado em: 18 de maio de 2015.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br>> Acessado em: 12 de maio de 2015.

INECE. The International Network for Environmental Compliance and Enforcement. Disponível em: <<http://inece.org/about/who-we-are>> Acessado em: 25 de março de 2015.

INEPRO. Princípios do Direito Ambiental. **Jurisambiente**, 2004. Disponível em: <<http://www.jurisambiente.com.br/ambiente/principios.shtm>. > Acesso em: 15 de março de 2015.

INSTITUTO ACENDE BRASIL. 2011. Licenciamento Ambiental: A Busca da Eficiência. Disponível em: <http://www.acendebrasil.com.br/http://www.acendebrasil.com.br/media/eventos/20110412_VII_Forum_Rev4_Site.pdf>. Acesso em: 19 de novembro de 2014.

Instituto de pesquisas Tecnológicas, Rota metalúrgica para produção de Silício Grau Solar. Disponível em: <<http://www.ipt.br/projetos/5.htm>> Acesso em: 21 de janeiro de 2015.].

JUNIOR, A. A. **Noções de direito e direito internacional**. Brasília : Fundação Alexandre de Gusmão, 2012. 242 p.

KOŁODZIEJ, A. *Staebler-Wronski effect in amorphous silicon and its alloys*. **Opto-Electronics Review** **12**, v. 12, p. 21–32, 2004.

LASTRES, H. M. M.; LEMOS, C. R. **Novos materiais: desafio e oportunidade**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Tecnologia, 1992. 104 p.

LIMA, M. L., *et al.* Refino de Silício Metalúrgico por Solidificação Direcional Transiente. In: 66° Congresso da Associação Brasileira de Metalurgia. 2011, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABM, 2011. p. 964-974.

LOBATO, E. **Elaboração do plano duodecenal (2010 - 2030) de geologia, mineração e transformação mineral**. 2009. 49 p.

LUQUE, A.; HEGEDUS S. **Handbook of Photovoltaic Science and Engineering**. 2. ed. Chichester: John Wiley and Sons, 2011. 1168 p.

MARKVART, T. e CASTANER, L. Overview of Potential Hazards. **Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications**. New York : Elsevier, 2003.

MASSON, G., *et al.* EPIA - **Global Market Outlook. For Photovoltaics 2013-2017**. Brussels: European Photovoltaic Industry Association, 2013. 60 p.

MCEVOY, A.; MARKVART, T.; CASTAÑER, L. Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications. Waltham: **Elsevier Science Ltda**, 2003.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa COPAM nº 74**, de 09 de setembro de 2004. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ambiental de funcionamento ou de licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização ambiental e de licenciamento ambiental, e dá outras providências. Disponível em: <<http://sisemanet.meioambiente.mg.gov.br/mbpo/recursos/DeliberaNormativa74.pdf>> . Acesso em: 10 de outubro de 2014.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa COPAM nº 176**, de 21 de agosto de 2012. Altera dispositivos da Deliberação Normativa COPAM nº 74, de 09 de setembro de 2004, incluindo na listagem “E” código de atividade para geração de energia solar fotovoltaica. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=23415>> . Acesso em: 21 de outubro de 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Parecer 312 CONJUR. **IBAMA**, 2004. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/licenciamento/>>. Acesso em: 10 de abril de 2015.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL. Deficiências em estudos de impacto ambiental: **síntese de uma experiência**. Brasília: Ministério Público Federal, 4ª Câmara de Coordenação e Revisão, 2004. 38 p.

MINISTRY OF HOUSING. **Eco-indicator 99 Manual for Designers**. Netherland: Ministry Of Housing. Spatial Planning and the Enviroment, 2000. 49 p.

MMA. Conselho Nacional Do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama>>. Acesso em: 23 de novembro de 2015

MORI , V., SANTOS, R. L. C. e SOBRAL , L. G. S. **Metalurgia do Silício: Processos de Obtenção e Impactos Ambientais** . Rio de Janeiro : CETEM/MCT, 2007. Série Tecnologia Ambiental, 41.

MULVANEY, D. Hazardous Materials Used in Silicon PV Cell Production: A Primer. **Solar Industry Magazine**, 6 Ed. v. 8. 2013.

MULVANEY, D., *et al.* **Toward a Just and Sustainable Solar Energy Industry**. United States : Silicon Valley Toxics Coalition. 2009. 45 p.

OLSON, C, *et al.* Life cycle assessment of heterojunction solar cells and modules. In: 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg, Germany. **Anais...** Hamburg: ECN, 2011.

PEDROTTI, M.; MISTURA, C. M. Avaliação de Aspectos Ambientais do Processo Produtivo de uma Metalúrgica de Pequeno Porte. **CIATEC** Passo Fundo : Rio Grande do Sul, Vol.2, p.p.22-45, 2010.

PRe. **SimaPro Database Manual** . San Francisco, California: PRe, 2014.

REALE, M. **Teoria Tridimensional do Direito**. 5. ed., rev. e reestruturada. São Paulo: Saraiva, 2005. 161 p.

RIVM, *et al.* Quick introduction into ReCiPe LCIA Methodology. **ReCiPe**. Disponível em: <<http://www.lcia-recipe.net/project-definition>>. Acesso em: 21 de outubro de 2014.

RÜTHER, R.; LIVINGSTONE, J. **Amorphous and crystalline silicon solar modules: choices of technologies**. In: CONFERÊNCIA SOLAR'93, Perth, Australia. **Anais...** Perth, Australian and New Zealand Solar Energy Society, 1993.

SAMPAIO, R. **Direito Ambiental**. Rio de Janeiro : Fundação Getúlio Vargas, 2011. 112 p.

SARTI, D.; Einhaus, R. Silicon feedstock for the multi-crystalline photovoltaic industry. In: *EMRS 2001 Symposium E: Crystalline Silicon for Solar Cells*. California, USA : Elsevier, p. 27-40, 2001.

SECRETARIA DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA.
Licenciamento ambiental. Disponível em:
<http://www.law.harvard.edu/faculty/unger/portuguese/pdfs/11_Licenciamento_ambiental1.pdf>. Acesso em: 12 de outubro de 2014.

SHAH, Alok S, *et al.* *Photovoltaic Technology: The Case for Thin-Film Solar Cells.* **Science**, v. 285, p. 692-698. 1999.

SILVA, J. P. S. Impactos ambientais causados por mineração. **Revista Espaço da Sophia**, p. 1-13, 2007.

SINHA, A., *et al.* A robust SmartSilicon technology for a-Si:H heterojunction cells on MG and UMG-Si with efficiencies in the 16 -18% range. In: 2013 IEEE 39th, 16-21, Tampa, Florida. **Anais... Florida: Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)**, 2013. P. 1301 – 1303.

SINHA, A. Low-cost multi-junction solar cells and methods for their production (EUA), US 8084683 B2, 27 de dezembro de 2011.

SILVA, A. M. A. Q. **Produção de Silício por Via Hidrometalúrgica.** 1999. 225 f. Tese (Doutorado Departamento de Engenharia Química), Universidade do Porto. Porto, Portugal.

SIRVINSKAS, L. P. **Manual de direito ambiental.** 3^a ed. São Paulo: Saraiva, 2005, p. 59.

SUMCO. Wafer process. 2010. Disponível em:
<http://www.sumcosi.com/english/products/process/step_02.html>. Acesso em: 07 de abril de 2015.

SVTC. Regulating Emerging Technologies in Silicon Valley and Beyond. **Silicon Valley Toxics Coalition.** Julho de 2008. Disponível em: <http://www.etoxics.org/site/PageServer?pagename=svtc_nanotech>. Acesso em: 15 de maio de 2015.

TCU - Tribunal de Contas da União. **TC 009.362/2009-4** Relatório de Levantamento de Auditoria no IBAMA - avaliação dos instrumentos de controle ambiental. 2009. 69 p.

TCU – Tribunal de Contas da União. **Cartilha de licenciamento ambiental**. 2.ed. Brasília: 4ª Secretaria de Controle Externo, 2007. 83 p.

TCU – Tribunal de Contas da União. **Cartilha de licenciamento ambiental**. 2.ed. Brasília: 4ª Secretaria de Controle Externo, 2007. 83 p.

TJDFT - Tribunal De Justiça Do Distrito Federal E Dos Territórios Entendendo o Judiciário. Disponível em: < <http://www.tjdft.jus.br/acesso-rapido/informacoes/vocabulario-juridico/entendendo-o-judiciario>>. Acesso em 13 de junho de 2015.

TSUDA, S., SAKAI, S. e NAKANO, S. Recent progress in a-Si solar cells. **Applied Surface Science**, v. 113-114, p. 734–740.

TSUNOMURA, Y., *et al.* Twenty-two percent efficiency HIT solar cell. **Solar Energy Materials & Solar Cells**. 2009, p. 670–673.

ÜBING, D. e KROPP, L. Environmental Laws and Their Execution in the Federal Republic of Germany. **International Network for Environmental Compliance and Enforcement**. 1999. Disponível em: <<http://www.inece.org/1stvol2/Ubing%20&%20Krop.htm>> Acesso em: 15 de março de 2015.

Vulcanis, A. Os problemas do Licenciamento Ambiental e a Reforma do Instrumento. In: 14º Congresso Internacional de Direito Ambiental, 2010, São Paulo. Florestas, Mudanças Climáticas e Serviços Ecológicos. **Anais...** São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2010. v. 1. p. 27-42

WEIDEMA, B P, *et al.* *Overview and methodology*. **Ecoinvent Centre**. 2013. Disponível em: <http://www.ecoinvent.org/files/dataqualityguideline_ecoinvent_3_20130506.pdf>. Acesso em: 12 novembro de 2014.

WEIDHAUS, D., *et al.* **Pilot production of granular polysilicon from trichlorosilane using a fluidized bed-type reactor**. In: 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Barcelona. **Anais...** Barcelona: Espanha, 2005 p. 565-568.

WODITSCH, P. e KOCH, W. Solar grade silicon feedstock supply for PV industry. **Solar Energy Materials and Solar Cells**. V. 72, p. 11–26, 2002.

XAKALASHE, B. S. e TANGSTAD, M. Silicon processing: from quartz to crystalline silicon solar cells. **Southern African Pyrometallurgy**. p. 83-100, 2011.

ZEMAN, M. Thin-Film Silicon Solar Cells. TU Delft OpenCourseWare, 2013. Disponível em: <<http://ocw.tudelft.nl/courses/microelectronics/solar-cells/readings/7-thin-film-silicon-solar-cells/>>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2015.

ZHANG, L e CIFTJA, A. Recycling of solar cell silicon scrap through filtration, Part 1: experimental investigation. **Solar energy materials and solar cells**, v. 92, p.1450-1461, 2008.