

Sidney Massami Koto

Fontes renováveis para a produção de energia elétrica no contexto
do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: estudo de caso de duas fontes
- eólica e fotovoltaica

Monografia apresentada ao Curso
de Pós-Graduação do IEE/USP
Área de Concentração: Gestão Ambiental
e Negócios no Setor Energético
como requisito para obtenção de
título de especialista

Orientador: Prof. Dr. Célio Bermann

SÃO PAULO

2009

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

KOTO, Sidney Massami. Fontes renováveis para a produção de energia elétrica no contexto do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: estudo de caso de duas fontes - eólica e fotovoltaica. São Paulo: IEE/USP, 2009. No. pag. p. (Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação da IEE/USP, Área de Concentração: Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético).

Resumo: O objetivo da monografia é estudar 2 casos de projetos que utilizaram fontes alternativas (eólica e fotovoltaica) para a produção de energia elétrica, aprovados dentro do escopo do MDL.

Palavras-Chaves: Eólica, Fotovoltaica, Indicadores, Protocolo de Kyoto, Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL, Alterações Climáticas.

AGRADECIMENTO

À minha esposa Fátima pelo amor e dedicação.

Aos meus pais, pela esperança depositada e pelos sacrifícios.

Ao meu orientador, prof. Célio Bermann, pela paciência e pelo direcionamento proporcionado.

Aos professores do curso de Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético, por trilharem caminhos e marcarem a trilha.

Aos colegas do curso, por mostrarem outra visão do mundo.

RESUMO

O problema mundial das alterações climáticas demandam soluções negociadas, globais e articuladas com o sistema de produção. O Protocolo de Kyoto e o seu mecanismo de flexibilização, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) foram apresentadas como um instrumento político-econômico para incentivar a redução da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) pelos países.

Um requisito fundamental para o sucesso de instrumentos de política é o estabelecimento de metas e o seu acompanhamento, para que haja incentivo à adesão dos stakeholders (grupos de interesse). Os indicadores propostos pelo MDL representam uma iniciativa para normalizar índices que dependem de fatores locais, como o mix de fontes para a produção de energia elétrica em um determinado país.

Para tratar o problema da redução de emissões de GEE, entre outras ações, é necessário investir em tecnologias “limpas”, isto é, que reduzam as emissões por unidade de produto ou serviço. No caso da produção de energia elétrica, isto significa investir em tecnologias alternativas como a eólica e a fotovoltaica.

O objetivo da monografia é estudar e comparar 2 casos de projetos que utilizaram fontes alternativas (eólica e fotovoltaica) para a produção de energia elétrica, aprovados dentro do escopo do MDL.

Palavras-chave: Eólica, Fotovoltaica, Indicadores, Protocolo de Kyoto, Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL, Alterações Climáticas

ABSTRACT

Climate Change issue requires negotiated global approach, integrated with the production system. Kyoto Protocol with its flexible mechanisms, e.g. Clean Development Mechanism (CDM) can be seen as political-economical tool to reinforce greenhouse gases emission reduction.

A key for a particular policy to succeed is to establish goals and follow-up, in order to stimulate stakeholders compliance to the agreement levels. CDM's indicators are a means to standardize quantitative goals that depend on local features, as the source mix to generate electrical energy in a particular country.

To deal with greenhouse gases reduction, it is important to invest in "clean" technologies, i.e., those which lower emission per unit product or service. As far as it concerns to electrical energy generation, it is required to promote alternative technologies, such as wind energy and photovoltaics.

The main purpose of this work is to compare two case studies of alternative sources to grid-connected electrical energy generation (wind and photovoltaics) within MDL's template.

Keywords: Wind Energy, Photovoltaics, Indicators, Kyoto Protocol, Clean Development Mechanism - CDM, Climate Change

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Coeficiente de Potência versus Velocidade Relativa	28
Figura 2 : Esquema de uma célula fotoelétrica.....	32
Figura 3 : Participação na produção mundial de materiais para PV	33
Figura 4 : Participação no mercado mundial no mercado de produção de energia elétrica PV	36
Figura 5 : Estrutura típica de custos de Estações Fotovoltaicas.....	36
Figura 6: Percentagem da contribuição dos principais componentes ao custo médio de uma estação PV na Alemanha em 1998	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Iluminação máxima em condições ideais (céu claro, sem nuvens ao meio-dia).....	31
Tabela 2: Características dos principais materiais PV.....	34
Tabela 3: Emissões de CO ₂ : Tecnologias de Produção de Energia Elétrica (Toneladas por GWh)	39
Tabela 4: Indicadores de referência, Parque Eólico Osório.....	43
Tabela 5: Comparação entre os dois projetos MDL (Eólica e Fotovoltaica)	47

ABREVIATURAS E SIGLAS

BEN: Balanço Energético Nacional

CEPAL: Comissão Econômica para a América Latina e Caribe

CCX: Climate Chicago Exchange

COP: Conferência das Partes (da UNFCCC)

DGP: Documento de Concepção de Projeto

DG TREN: European Commission's Directorate General for Transport and Energy

DNV: Det Norske Veritas

EPIA: European Photovoltaic Industry Association

EWEA: The European Wind Energy Association

GEE: Gases de efeito estufa

GWEC: Global Wind Energy Council (Conselho Global de Energia Eólica)

GTZ: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit

IEA: International Energy Agency

IAEA: International Atomic Energy Agency

MDL: Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

NREL: National Renewable Energy Laboratory (Laboratório Nacional de Energias Renováveis, do governo dos Estados Unidos da América).

OLADE: Organização Latino-americana de Energia

ONS: Operador Nacional do Sistema

ONU: Organização das Nações Unidas

PIB: Produto Interno Bruto

PROINFA: Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

PV: Fonte Fotovoltaica

RCE: Redução Certificada de Emissões

SIN: Sistema Interligado Nacional

S-SE-CO (sub-sistema): sub-sistema do sistema interligado correspondente às regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil

UNCED,: Conferência sobre o Meio-Ambiente e Desenvolvimento

UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Conferências Mundiais sobre o Meio-Ambiente e Clima	11
2 INDICADORES DE PROJETOS DO MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO.....	17
2.1 Conceito de Indicador.....	17
2.2 Indicadores de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.....	19
3 FONTES ALTERNATIVAS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: FOTVOLTAICA E EÓLICA.....	23
3.1 Introdução.....	23
3.2 Tecnologia Eólica.....	24
3.3 Tecnologia Fotovoltaica.....	31
4 ESTUDOS DE CASO: FONTES EÓLICA E FOTVOLTAICA	39
4.1 Introdução.....	39
4.2 Parque Eólico Osório	40
4.3 Parque Fotovoltaico de Donghae (Coréia do Sul)	44
4.4 Estudo comparativo entre as duas fontes alternativas estudadas	47
5 Conclusões.....	49

1 INTRODUÇÃO

O problema das mudanças climáticas encontra-se na agenda de vários países e órgãos internacionais multilaterais. Essa questão deve ser tratada considerando o inter-relacionamento entre os países, pois não pode ser circunscrito a uma determinada região. Nesse sentido, acordos internacionais, como o Protocolo de Kyoto representam esforços de normatizar a relação entre produção e demanda de bens e insumos, incluindo a energia, e a sua interferência no clima do planeta. Ao se estabelecer metas de redução de emissão de gases de efeito estufa (GEE), incentiva-se a busca de fontes alternativas ao combustível fóssil para minimizar o impacto climático. Como exemplo, podemos citar o fato de que a produção de energia elétrica através de fontes renováveis vem ganhando espaço como um complemento às fontes tradicionais. Segundo o Conselho Global de Energia Eólica e o Greenpeace (GWEC & Greenpeace, 2008), com base no ano de 2007, a potência eólica instalada no mundo aumentou 30% em relação a 2006, e multiplicou-se por um fator de 12 vezes em relação a 1997. Dados da Agência Internacional de Energia revelam que o crescimento entre 2006 e 2007 da potência fotovoltaica (conectada à rede ou não) instalada cresceu 40%. A utilização crescente de fontes alternativas, e a pressão de setores da sociedade, que se expressaram nas conferências multilaterais, justificam o melhor entendimento do potencial de fontes alternativas de energia para que possa haver a alocação de recursos o mais eficaz possível.

Para que um objetivo seja alcançado é necessário estabelecer medidas para acompanhar o progresso do trabalho para atingi-las. Um dos principais indicadores para medir o impacto do sistema de produção de bens e serviços é a emissão de GEE. As metas de redução de emissão de GEE também incentivam a padronização e uso de indicadores para medir o efeito de ações e projetos independente do local e do tempo em que o indicador é analisado. Isso permite a comparação e acompanhamento dos resultados, o que leva a um aumento na eficiência do retorno sobre o investimento em tecnologias alternativas de produção de energia elétrica.

O trabalho trata dos indicadores relativos a projetos de produção de energia elétrica através de duas fontes alternativas, eólica e fotovoltaica, dentro do contexto

dos padrões MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo), decorrente das conferências mundiais para tratar o problema das mudanças climáticas.

O capítulo atual aborda o conceito de indicador e o contexto das conferências mundiais sobre o meio-ambiente e clima. O capítulo 2 detalhará os indicadores de projetos padronizados pela Convenção sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC), o capítulo 3 exhibe as tecnologias eólica e fotovoltaica para a produção de energia elétrica e o capítulo 4 apresenta os estudos de caso para as fontes anteriormente dissertadas.

1.1 Conferências Mundiais sobre o Meio-Ambiente e Clima

Até a primeira crise do petróleo em 1973, não se considerava a hipótese de que os recursos naturais poderiam acabar. O crescimento econômico era o objetivo principal dos países, e o consumo de capital natural era visto como parte do processo de um mundo em desenvolvimento. Até mesmo a poluição era vista como um mal necessário. Quando o petróleo, um dos principais recursos para a cadeia econômica, teve o seu preço aumentado, os países desenvolvidos entraram em recessão econômica. Nesse momento, começou-se a questionar o que aconteceria se os recursos naturais acabassem, e o quais os reflexos nas economias dos países.

Um ano antes, a Conferência da ONU sobre o Meio Ambiente Humano em Estocolmo discutiu a relação entre crescimento econômico, bem-estar social e educação. Ainda não se tinha uma visão preservacionista, pois o foco era a melhoria de condições da vida humana. O documento foi escrito para inspirar as pessoas e conscientizá-las a repensar o modo de produção baseado no consumo crescente.

Em 1983 foi criada uma Comissão Mundial sobre Ambiente e Desenvolvimento, e foi divulgado um documento chamado “O Nosso Futuro Comum”, em que se procurava conciliar desenvolvimento humano e econômico, preservando o meio-ambiente para as gerações futuras. Esse é o conceito do termo “desenvolvimento sustentável”. Com base nesse documento, a Assembleia Geral das Nações Unidas criou uma Conferência sobre o Meio-Ambiente e Desenvolvimento (UNCED), com o objetivo de encontrar um consenso sobre o conceito de

desenvolvimento sócio-econômico que não deteriore o meio-ambiente e promova a integração entre os países industrializados e sub-desenvolvidos. Essa conferência foi materializada no Rio de Janeiro em Junho de 1992 (também chamada de *Earth Summit* - Cúpula da Terra) e teve como resultados:

- ? Agenda 21
- ? Carta da Terra;
- ? Convenções: Biodiversidade e Mudanças climáticas;
- ? Declaração de princípios sobre florestas;
- ? Declaração do Rio sobre Meio-Ambiente e Desenvolvimento.

Desses resultados, destacam-se a Agenda 21, que propôs várias metas, incluindo a erradicação da pobreza, conservação do patrimônio ecológico e formas de desenvolvimento sustentável, e a Convenção sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change). A UNFCCC tem como objetivo estabelecer metas e regras a serem cumpridas pelos países signatários para enfrentar os desafios das mudanças climáticas. O órgão supremo da Convenção é a Conferência das Partes (COP), que tem a responsabilidade de acompanhamento da execução dos objetivos do protocolo, assim como estabelecer normas para que possam ser atingidos. Anualmente são feitas reuniões para acompanhar os resultados preliminares e estabelecer acordos. A terceira conferência (COP-3), realizada em Kyoto em Dez/97, estabeleceu metas de redução de emissão de GEE. Isso se alterou com a conferência sobre mudanças climáticas que se deu em Kyoto, em 1997.

O Protocolo de Kyoto foi criado em 11/Dez/1997 é um acordo assinado por países que concordaram em estabelecer metas de redução de emissão de gases de efeito estufa (GEE) dentro de um cronograma. Essas assinaturas ou ratificações ocorreram a partir de Dez/97 e até ser ratificado por países que em conjunto fossem responsáveis por pelo menos 55% das emissões ele não seria válido. O tratado entrou em vigor em 16/Fev/2005 após a ratificação pela Federação Russa em Nov/2004. Mesmo sem alterar o status do tratado, a assinatura do tratado pela Austrália, em Dez/2007, após a posse do primeiro-ministro Kevin Rudd, foi

importante para aumentar a legitimidade do acordo global. A posse do presidente Barack Obama no governo dos Estados Unidos, em Jan/2009, também traz perspectivas de que esse país possa ratificar o tratado e fortalecê-lo.

Foi definido o conceito de “responsabilidade comum, porém diferenciada” para todos os signatários: estabelece, para 37 países desenvolvidos e a Comunidade Européia, metas de redução de 5%, em média, da emissão dos GEE em relação aos níveis de emissão de 1990, no período entre 2008 e 2012 (1º. período de compromisso). Os “Países do Anexo 1” correspondem aos países da OCDE¹ e aos países em transição para economias de mercado². Já os países em desenvolvimento (não-Anexo 1) têm uma responsabilidade diferenciada. Como a emissão dos GEE está diretamente relacionada ao processo de industrialização, foi estabelecido o critério de que os países desenvolvidos e industrializados deveriam arcar com as metas de redução.

Na COP-7 (Marrakech, 2001), foram criados mecanismos de flexibilização para os países do Anexo 1, dentro do conceito da “responsabilidade comum, porém diferenciada”. O objetivo foi diminuir o impacto econômico que o esforço de redução de emissões poderia causar nos países industrializados. São três mecanismos:

- ? Implementação Conjunta (JI, *Joint Implementation*, art. 6º do Protocolo);
- ? Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL ou CDM, *Clean Development Mechanism*);
- ? Comércio de Emissões (*Emission Trading*, art. 17 do Protocolo);

Os MDL's estão relacionados à implementação de projetos que reduzam a emissão de GEE, medidos em equivalentes a toneladas de CO₂ (tCO₂e). Cada tCO₂e evitada equivale a uma unidade de Redução Certificada de Emissões (RCE), também conhecida como Crédito de Carbono. Os países que não conseguirem atingir suas metas de redução de emissão podem compensar ao adquirir unidades de RCE,

¹ Exceto México e Coréia do Sul

comercializados no âmbito do MDL ou em bolsas (Climate Chicago Exchange – CCX, Canadá, Japão, ou *European Union Emission Trading Scheme*).

Esses projetos devem ser implementados nos chamados não-Anexo 1, aqueles que necessitam manter um crescimento econômico e não possuem metas de redução da emissão em relação aos níveis de 1990. Cada projeto deve apresentar um Documento de Concepção de Projeto (DCP) que contém alguns indicadores para avaliar a contribuição na redução da emissão de GEE. O critério adotado para verificar a aplicabilidade do MDL ao projeto é a adicionalidade, ou seja, somente serão candidatos a receber as RCE's, projetos que tenham reduções líquidas de emissão relativo a uma linha de base (*baseline*).

A aprovação do documento pela Junta Executiva do MDL confere ao projeto unidades de RCE.

Os países não-Anexo 1 deverão:

- ? Elaborar relatórios de emissões
- ? Elaborar planos de mitigação
- ? Proteger os estoques de carbono
- ? Cooperar no desenvolvimento técnico-científico

A Junta Executiva do MDL é o órgão que regulamenta e fiscaliza os projetos denominados MDL e define etapas para a sua implementação:

1. Elaboração do documento de concepção do projeto
2. Validação da metodologia do projeto pela entidade operacional designada
3. Aprovação do projeto pela autoridade nacional designada
4. Registro do projeto no Conselho Executivo do MDL

5. Monitoramento da atividade do projeto
6. Verificação e certificação pela entidade operacional designada
7. Emissão da RCE

Antes da discussão do aquecimento global, o CO₂ não era sequer considerado como poluente. Houve uma evolução nos debates dos problemas climáticos e a adoção de metas de redução de emissões em conjunto com mecanismos de mercado vêm mostrando-se promissores. Com o MDL, possibilita-se a transferência de tecnologia que permite o uso de fontes alternativas ou aumenta a eficiência de processos produtivos para os países que necessitam caminhar em seu processo de industrialização para alcançar os países ricos. Isso faz com que se proporcione uma infra-estrutura que permita o crescimento com um menor impacto em termos de emissões de GEE. Também espera-se que, com a adoção da metodologia do MDL e o seu aperfeiçoamento, os projetos possam ser avaliados com base em indicadores comparáveis. Além disso, será possível avaliar o impacto de um projeto ou conjunto deles nas metas de emissão de um país, permitindo a informação e o controle da sociedade.

Esses benefícios proporcionados pelo MDL devem estimular a consolidação do marco institucional, isto é, das regras que norteiam as etapas da implementação de um projeto MDL. Do ponto de vista do investidor, a possibilidade de alteração na metodologia de cálculo de emissões é um fator de risco do projeto. A dificuldade de mensurá-lo é um motivo para inibir o investimento em projetos MDL, como se pode observar no caso do Brasil, em que a iniciativa dos projetos é predominantemente do setor privado e localizado em setores produtivos, conforme ressalta CUNHA:

“Apesar da contribuição do país para o efeito estufa adicional derivar principalmente de atividades de desflorestamento e uso da terra, é no setor de energia que se verificam os programas e políticas de mitigação, mesmo considerando que estes não visam diretamente a esse fim. É também no setor de energia que se verifica a maioria dos projetos de MDL em desenvolvimento no país, havendo o predomínio de projetos de cogeração a partir da biomassa residual da cana de açúcar e aproveitamento do gás de aterro.” (CUNHA, 2005, p.177)

Para o setor sucroalcooleiro, a geração de energia é um sub-produto não essencial e os riscos do projeto, incluindo aqueles associados à aquisição e comercialização de RCE's, podem ser melhor absorvidos, assim como o setor de aterros sanitários. Assim, um projeto cujo produto principal seja a geração de energia elétrica o risco associado ao MDL pode comprometer a rentabilidade do projeto. Outra tendência é a concentração de investimentos nesses setores, em detrimento a outros cuja metodologia ainda não está consolidada, como no caso do uso da terra. O reflorestamento está previsto, ainda que sua regulamentação ainda não esteja consolidada, principalmente por conta da dificuldade em medir a captura de GEE. Porém, o item mais polêmico é a conservação da floresta, que hoje não está previsto. O principal argumento para tal é o fato de que a manutenção da mata nativa não gera adicionalidade, pois a execução do projeto não reduzirá emissões. Porém, esse critério pode gerar distorções, pois a simples derrubada da floresta e um projeto de reflorestamento posterior, gera um cenário de adicionalidade. O critério atual não considera que a derrubada da mata gera emissões líquidas de GEE. Portanto, ainda há muito a caminhar para que a metodologia do MDL proporcione um cenário institucional estável e eficiente para incentivar projetos que minimizem os efeitos de emissão de GEE.

2 INDICADORES DE PROJETOS DO MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO

Um dos desafios para o estabelecimento de práticas que preservem os recursos para as gerações vindouras é estabelecer um critério de avaliação do uso dos recursos naturais. É primordial estabelecer metodologias amplamente aceitas no que se refere ao conceito de sustentabilidade apresentado no capítulo anterior. Surgem questões relativas ao custo inter-geracional gerado pelo sistema produtivo, à sustentabilidade do uso dos recursos, como a energia, assim como das necessidades futuras. “A resposta a esse questionamento tem sido o desenvolvimento e a aplicação de sistemas de indicadores ou ferramentas de avaliação que procuram mensurar a sustentabilidade.” (VAN BELLEN, 2007, p.13).

2.1 Conceito de Indicador

HAMMOND considera que “o termo **indicador** é originário do latim *indicare*, que significa descobrir, apontar, anunciar, estimar” (*apud* VAN BELLEN, 2007, p.41). Os indicadores têm como função medir características de um determinado fenômeno e compará-las contra um padrão esperado. Dessa maneira, pode-se exercer um controle sobre esse fenômeno. Desde o controle da temperatura corporal, passando pela apuração do lucro de uma empresa, pode-se inferir a saúde de uma pessoa ou de uma empresa através do acompanhamento de um conjunto de indicadores.

Os indicadores sempre desempenharam um papel importante nas discussões entre os países. A construção de indicadores de sustentabilidade segue, dessa maneira, a agenda de discussões entre os países, através das agências internacionais. Os objetivos de políticas públicas partem de conceitos gerais de bem-estar e crescimento econômico, porém é difícil os grupos de interesse encontrarem um denominador comum. Para isso, os objetivos qualitativos podem ser quantificados em indicadores:

“Ainda que os objetivos de política expressem-se geralmente em termos qualitativos, é possível associar a cada um deles um ou mais indicadores quantitativos. Desta maneira, as metas correspondentes a cada objetivo poderão traduzir-se em termos de tais indicadores, estabelecendo as condições mínimas para o sucesso das mesmas.” (OLADE , CEPAL & GTZ, 2001, p.88).

Os indicadores não são meros dados primários, definidos como sendo variáveis diretamente medidas a partir da observação da realidade, como por exemplo, a população de uma região, a temperatura média de uma cidade, etc. A partir da análise destes dados primários, encontra-se relações que podem informar sobre o relacionamento entre eles, permitindo controlar uma dada situação desejada. É um modelo da realidade a partir de um conjunto de referências (paradigmas), resumindo em algumas variáveis o monitoramento de um padrão desejado.

Um exemplo de uso de indicadores no setor energético é a intensidade de uso de energia dividido pelo PIB (Produto Interno Bruto), muitas vezes denominado *Intensidade energética*. Esse indicador é utilizado em comparação com outros países, como o apresentado a seguir no caso da Argentina: “Da análise de indicadores tais como a intensidade energética do PIB, pode-se dizer que a Argentina apresenta um dos níveis mais baixos entre os países da América Latina. Estima-se que a média regional supera em mais de 50% o valor do indicador em nosso país” (ABRUZZINI, 2000, p. 11).

O uso de indicadores permite a comparação entre duas situações numa base comum, permitindo avaliar um determinado cenário em relação a uma meta a ser atingida. Eles podem determinar a posição de um cenário analisado dentro de uma escala ordinal, permitindo avaliar se as ações passadas surtiram efeitos desejados. Porém, há críticas sobre esse uso comparativo:

“Os indicadores, cujos componentes podem ser expressos em diferentes unidades de medida, não admitem relações de ordem que permitam definir o grau de sustentabilidade relativa. Trata-se tão somente de caracterizar ‘situações’ com respeito a diferentes dimensões da sustentabilidade, selecionando para cada dimensão um número limitado de indicadores (OLADE , CEPAL & GTZ, 2001, p.11-2).

A existência de um conjunto de indicadores é fundamental para a definição de políticas, avaliação de estados ambientais locais e globais e para o acompanhamento de ações. Essa linha de pesquisa é importante para fornecer ferramentas de decisão para gestores públicos, administradores de empresas, ONGs relacionadas ao setores ambientais e energéticos, pesquisadores e público em geral. A divulgação e análise de resultados baseada nos indicadores é uma maneira de tornar os debates mais objetivos.

A partir das referências dadas pelos indicadores, é possível estabelecer algumas metas, assim como avaliar cenários. Por exemplo, “aumentar as taxas de eletrificação de 74% em 2002 para 83% em 2030 (como projetado pelo IEA no documento *World Energy Outlook* de 2004) proveria milhões de pessoas com eletricidade pela primeira vez, contribuindo para o desenvolvimento social através de educação e saúde pública, satisfazendo de maneira mais eficaz, as necessidades básicas de comida e abrigo, e reduzindo o uso de biomassa tradicional para fins de energia, com benefícios em termos de um desflorestamento mais lento.” (MORGAN, 2006, p.17)

A sustentabilidade dos recursos também pode ser definida a partir dos indicadores: “Muito da atual oferta e uso de energia baseada em combustíveis fósseis limitados está fadado a ser ambientalmente insustentável. Não há tecnologia de produção ou conversão de energia sem risco ou sem poluição. Em algum lugar ao longo de toda a cadeia de produção – da extração de recursos à provisão de serviços de energia – os poluentes são produzidos, emitidos ou depositados, frequentemente com impactos ambientais e na saúde.” (IAEA , 2005, p.1).

2.2 Indicadores de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

O Protocolo de Kyoto definiu metas de redução da emissão GEE para os países do Anexo 1, o que gerou a necessidade de acompanhar indicadores periodicamente. Esses países devem reportar dados nacionais de emissão de GEE por

fonte³, assim como o sequestro de carbono por tipo até o dia 15 de abril de cada ano. Segundo o relatório mais recente (UNFCCC, 2008), houve uma redução, entre 1990 e 2006, em 5,5% das emissões de GEE e de 4,7% excluindo uso da terra e reflorestamento.

Para os projetos de geração de energia através de fontes renováveis e conectadas à rede, a Junta Executiva do MDL aprovou uma metodologia específica, denominada ACM0002, em que indicadores devem ser medidos e acompanhados.

O resultado final do projeto deve ser medido em termos de redução de emissão em tCO₂e, portanto, deve-se estimar o seguinte indicador para um projeto de MDL que entregue eletricidade à rede:

$$ER_y = BE_y - (L_y + PE_y),$$

onde ER_y é a redução de emissão, BE_y é a linha de base de emissões evitadas, relativo ao uso de combustíveis fósseis, L_y são as emissões devido à fuga e PE_y são as emissões relativas ao projeto, no ano y . As emissões de fuga referem-se a fatores como transporte de insumos (combustível), queima de combustível para inicializar o gerador, compra de eletricidade quando a operação está fora do ar.

Constata-se que o termo BE_y da equação é o principal fator a ser avaliado, pois os outros termos são subtraídos deste para a obtenção do valor líquido da redução de emissão. A linha de base BE_y é a referência do atual estado tecnológico que resulta em emissões de GEE e refere-se à composição de fontes utilizadas em uma determinada região ou país. Quanto maior o uso de fontes intensivas em combustíveis fósseis, maior será o valor da linha de base, e maior será a redução de emissão de um projeto MDL nessa região. Portanto, a metodologia de cálculo da linha de base é um dos principais itens normatizados pela Junta Executiva do MDL, a fim de evitar distorções entre regiões ou a utilização de um indicador de redução de emissões baseado em premissas falsas ou desatualizadas.

³ Emissão de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonetos (HFC), perfluorcarbonetos (PFC) hexafluorido sulfúrico (SF₆). Não são considerados emissões ou remoções por uso da terra, e reflorestamento (LULUCF).

A linha de base deve ser calculada segundo a metodologia prescrita pela Junta Executiva do MDL, na documentação disponível no documento “*Annex 12 Methodological tool: “Tool to calculate the emission factor for an electricity system”*”. Deve-se seguir as 6 etapas:

1. Identificar o sistema elétrico, ou a extensão da rede conectada, incluindo as usinas que despacham energia à rede sem restrições significativas na transmissão;
2. Selecionar o método de margem de operação
3. Calcular o fator de emissão da margem de operação
4. Identificar as unidades de potência a serem incluídas na margem de construção
5. Calcular o fator de emissão da margem de construção
6. Calcular o fator de emissão da margem combinada

O fator de emissão margem de operação representa a emissão de GEE decorrente da energia despachada ao sistema, enquanto o fator de emissão da margem de construção representa a emissão de GEE das últimas usinas construídas.

O cálculo do fator de emissão da margem de operação pode ser feito segundo uma das metodologias a seguir:

- ? Margem de Operação Simples
- ? Margem de Operação Simples Ajustada
- ? Margem de Operação por análise dos dados de despacho (de energia)
- ? Margem de Operação Média

O primeiro método⁴ utiliza o cálculo ponderado para todas as usinas conectadas à rede, exceto as usinas de baixo custo de geração, baseado em dados de produção líquida de energia, consumo de combustível e de eficiência das usinas. O segundo método separa as usinas de baixo custo das demais, ou seja, pondera o índice segundo a importância relativa das fontes (normalmente as usinas de baixo custo despacham primeiro a energia e tendem a ser mais utilizadas). O terceiro método utiliza dados de despacho de energia à rede por hora, quando o projeto fornece a energia. É um método mais preciso, porém, não se pode recorrer a séries históricas e requer dados de geração por usina disponíveis *on-line*. A última opção é a média do fator de emissão da margem em operação, uma média de emissão de todas as usinas conectadas à rede, incluindo as usinas de baixo-custo em todas as equações.

Com base nesses indicadores, pode-se prever, monitorar e avaliar o benefício de um projeto em termos de emissões evitadas de GEE. Há um incentivo para que os projetos encaminhem a documentação para obter as RCE's, portanto, os projetos terão métricas comuns. Assim é possível comparar projetos, agregar efeitos em setores, regiões ou tipo de fonte. Os indicadores de impacto ambiental ainda não estão padronizados, devido à sua complexidade, mas eles devem constar do DCP. Isso ainda requer um amadurecimento na adoção da metodologia, que ainda será debatida e modificada para englobar esses e outros aspectos relevantes na avaliação ambiental.

⁴ Existem 3 opções para o cálculo, sendo recomendado o primeiro, caso haja disponibilidade de dados: (A) dados de consumo de combustível e de geração líquida de energia de cada usina, ou (B) dados de geração líquida de energia, dados de eficiência média de cada usina e por tipo de combustível usado; ou (C) dados da geração líquida de energia, do sistema, e do consumo total de combustível.

3 FONTES ALTERNATIVAS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: FOTOVOLTAICA E EÓLICA

3.1 Introdução

O Ministério das Minas e Energia publica anualmente o documento *Balço Energético Nacional*, com os principais indicadores da oferta e demanda por energia no país. A produção de energia elétrica no Brasil é baseada em centrais hidroelétricas, que representaram 80% da geração em 2006 (BEN, 2007). Essa participação é favorável do ponto de vista de evitar a emissão de CO₂, mas devem-se considerar os impactos ambientais resultantes das obras de construção e da formação da barragem. A opção pelas centrais termoelétricas tem o seu custo ambiental: a emissão de CO₂ no caso das centrais a gás natural e a carvão e os resíduos radioativos das centrais de fonte nuclear. O crescimento sócio-econômico acarreta um aumento na demanda por energia. O Poder Público tem a obrigação de incentivar a oferta por energia minimizando os custos econômicos, ambientais e sociais. A decisão sobre a composição da matriz energética e em especial da participação das diversas fontes na produção de energia elétrica deve considerar esses aspectos. As fontes alternativas não se constituirão na base da produção de energia elétrica, mas podem ajudar a compor uma matriz melhor balanceada. As fontes hidroelétricas dependem do regime de águas, e cada região possui um período de seca. Nessas épocas, o volume dos reservatórios cai, assim como a produção de energia nas hidroelétricas. Uma característica interessante no regime de ventos no Brasil é a complementaridade existente entre os regimes dos ventos e das águas, ou seja, nos períodos de menor incidência de ventos há um fluxo maior de chuvas (e, portanto, do nível dos reservatórios das hidroelétricas), e vice-versa. Portanto, a utilização da fonte eólica tem o potencial de auxiliar o balanceamento da produção de energia elétrica nesses momentos, evitando a ativação das termoelétricas a gás e a carvão.

A utilização de fontes eólica e fotovoltaica para a produção de energia elétrica tem duas motivações: (i) abastecer regiões isoladas geograficamente, com o benefício de prover suas populações com energia elétrica evitando-se o investimento

em infra-estrutura de transmissão e distribuição; e (ii) complementando outras fontes.

3.2 Tecnologia Eólica

As aplicações para a tecnologia eólica de produção de energia elétrica incluem:

- ? carga/ rede isolada
- ? sistema híbrido (em conjunto com outras fontes, por ex: geradores a diesel)
- ? integração ao sistema de transmissão /distribuição (*onshore* e *offshore*)

Trataremos, no presente trabalho, da aplicação em Parques Eólicos integrada ao sistema de transmissão/ distribuição, por ser a modalidade mais importante e de maior crescimento em potência instalada para a geração de energia elétrica pela fonte eólica. A análise de sustentabilidade da opção eólica envolve, por um lado os custos econômicos, sociais e ambientais de implementação e geração e por outro os benefícios em termos de impactos ambientais evitados. A publicação pelo Banco Mundial de diretrizes ambientais, de saúde e segurança para a energia eólica⁵ indica alguns fatores a serem controlados: (i) Impactos ambientais da energia eólica e sua gestão, incluindo impactos visuais, ruído, distúrbios a espécies animais (perturbação, ferimentos e mortalidade), alteração no entorno, sombra e reflexo gerados pelas pás das hélices e qualidade da água; (ii) Segurança e saúde ocupacional, que se refere às condições de trabalho nos parques eólicos; e (iii) Segurança e saúde comunitária,

5 IFC, International Finance Corporation, *Environmental, Health, and Safety Guidelines for Wind Energy*, 2007, disponível em

<http://www.gwec.net/fileadmin/documents/GlobalWind2008Report.pdf> (Acesso em: 11/06/2009)

incluindo a segurança na navegação aérea e marítima, além da interferência e radiação eletromagnética. Por sua vez, DUTRA (2004, p. 198-201)⁶ cita os principais impactos ambientais dos sistemas eólicos: (i) emissão de ruído; (ii) impacto visual e (iii) impacto sobre a fauna. O primeiro fator tem sido atenuado pelo avanço técnico na construção das turbinas eólicas, que segundo o mesmo autor, “promoveram um avanço significativo na diminuição dos níveis de ruído”⁷. A utilização de turbinas de baixa rotação e com o uso de geradores multipolo conectado diretamente ao eixo das pás fez com que o nível de ruído diminuísse em relação às turbinas convencionais. O impacto visual é um fator subjetivo, ligado à percepção das comunidades nas quais são instaladas os parques eólicos. O impacto sobre a fauna recai sobre a mortalidade de animais, principalmente de aves. Uma pesquisa realizada pela EWEA⁸, em 1998, sobre a estimativa de mortes anuais de pássaros nos Países Baixos relatou que o índice de mortes de pássaros pelo tráfego de veículos é 100 vezes maior em comparação com os parques eólicos.

A produção de energia elétrica através da fonte eólica baseia-se no seguinte princípio: a energia cinética dos ventos é transformada em energia mecânica e em seguida esta é transformada em energia elétrica. Os ventos impulsionam a hélice, que por sua vez faz girar o rotor. Esse movimento é transmitido para o conversor, que por um processo de indução eletromagnética transforma a energia cinética de rotação em energia elétrica.

Com relação às turbinas eólicas, elas podem ser classificadas:

- ? Pelo tipo de eixo: horizontal ou vertical;
- ? Pelo número de pás da hélice;

⁶ DUTRA, R.M., Energia Eólica. In: TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno (coord.) *Alternativas energéticas sustentáveis no Brasil*, RJ: Relume Dumará: COPPE: CENERGIA, 2004

⁷ *ibid.*, p.199.

⁸ *apud ibid.*, p.201

- ? Pelo tipo de gerador: segundo (REIS, 2007, p.173), geradores de corrente contínua, geradores síncronos ou geradores de indução (assíncronos).
- ? Pela velocidade do rotor: constante ou variável.
- ? Pelo tipo de controle da potência mecânica: por perda aerodinâmica (“stall”), e por controle do ângulo de passo (“pitch”).
- ? Por tipo de ligação do gerador à rede elétrica: direta ou por conversor.

As turbinas de eixo vertical não são comuns, por apresentarem baixa eficiência e porque são construídas em alturas baixas em relação ao solo, região em que os ventos têm menor velocidade. As turbinas de eixo horizontal necessitam ser colocadas numa torre,

$$V = V_0 (H/ H_0)^n,$$

Onde a velocidade do vento V_0 é conhecida numa altura H_0 e n é o fator de rugosidade do terreno, variando entre (0,1). A velocidade do vento V desejada é proporcional à altura H em que a hélice é postada, atingindo uma altura-limite em que o aumento da altura não resultará num aumento significativo da velocidade do vento.

Numa turbina de eixo horizontal, o número de pás da hélice é, em geral, ímpar (maior do que 1), por razão de estabilidade. Em número par, quando uma pá está no ponto mais alto, outra está no ponto mais baixo, gerando um torque num eixo distinto do rotor.

A geração de eletricidade numa turbina eólica segue o princípio de um motor elétrico. Vários pólos (eletroímãs) são dispostos em arranjo circular, em torno do eixo do rotor, equipado com um ímã permanente (eletroímã ou um material magnético natural). No caso do motor elétrico, a energia elétrica fornecida inverte a polaridade magnética dos pólos e a variação da polaridade, em interação com o eletroímã no rotor, produz torque no eixo. No caso do gerador, o processo é inverso:

o torque gerado no eixo produz a variação da polaridade nos pólos e em cada um deles, a variação do campo magnético produz corrente elétrica alternada.

O gerador de corrente contínua é mais comum numa instalação de carga/ rede isolada. A energia elétrica em corrente alternada gerada pela turbina é convertida, por um retificador, em corrente contínua e é armazenado para ser utilizado à medida que se necessite. O gerador síncrono tem esse nome porque a velocidade de rotação do rotor é proporcional à frequência da rede pela qual será transportada a energia elétrica. A velocidade do rotor é constante e é determinada pelo número de pólos magnéticos, quanto maior o número de pólos menor a velocidade do rotor. Os geradores assíncronos ou de indução possuem uma gaiola de indução que envolve o rotor. Se este gira a uma rotação síncrona (velocidade angular síncrona) à variação do campo magnético nos pólos, nada acontece na gaiola. Porém, se a velocidade do rotor é maior do que a velocidade angular da variação do campo magnético gera-se uma corrente de indução na gaiola, que se somará na produção de energia elétrica nos outros componentes. Essa diferença na velocidade angular é denominada de deslizamento (*slip*), definida como uma fração da velocidade angular da variação do campo magnético nos pólos de indução.

O controle da potência gerada por uma turbina eólica depende de fatores aerodinâmicos. Quanto maior for o aproveitamento da energia cinética do vento, mais eficiente será a geração eólica. Dois parâmetros do vento são importantes para determinar a energia cinética contida nele: a velocidade e a direção. A velocidade determina a potência máxima de geração da turbina, cujo limite é dado pela Lei de Betz:

$$P_{\max} = 16/27 \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v_1^3$$

Onde P_{\max} é a potência máxima que pode ser obtida de uma corrente de vento impulsionando um rotor, ρ é a densidade do ar que passa no rotor, S é a área circular determinada pelas pás da hélice, e v é a velocidade do vento na frente da hélice. A razão 16/27, aproximadamente igual a 59%, é o limite teórico da potência gerada por uma turbina eólica. Esse é o valor máximo do coeficiente de potência C_p , que depende da razão (?) entre a velocidade linear da ponta da hélice e a velocidade do vento.

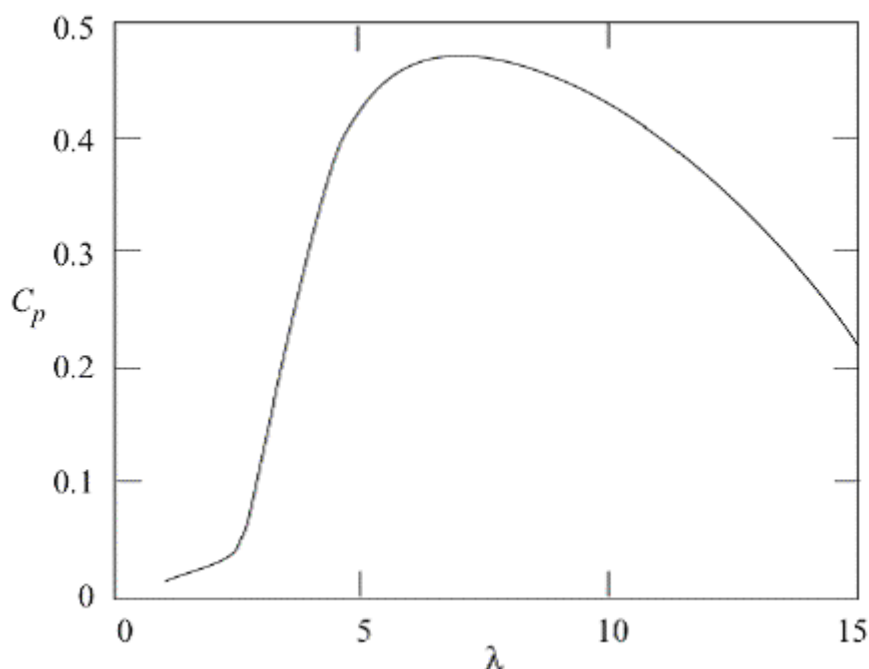


Figura 1: Coeficiente de Potência versus Velocidade Relativa

Fonte: (CASTRO, F. A., 2007)

Como a velocidade do vento é um fator variável não controlável, é interessante ajustar a velocidade linear da ponta da hélice (e, portanto a velocidade angular ω definida por $\omega = V / R$, onde V é a velocidade linear e R o raio da superfície descrita pela rotação das pás). Dessa maneira é possível regular o coeficiente de potência para o seu valor máximo, otimizando-se a potência gerada. Essa característica da tecnologia eólica motivou a pesquisa de rotores de velocidade variável. Apesar da vantagem das turbinas de velocidade constante serem ligadas diretamente à rede (geram eletricidade na mesma frequência), elas não operam regularmente a valores ótimos de ω , e, portanto com a potência máxima.

Ventos fortes são desejáveis, porém é necessário controlar o excesso para evitar danos nos mecanismos da turbina. Assim, existem dois tipos de controle de potência: pela variação do ângulo de passo (β) das pás da hélice (“*pitch*”), e pelo ajuste das perdas aerodinâmicas nas mesmas (“*stall*”). No primeiro mecanismo, as pás da hélice giram em torno do seu eixo longitudinal, reduzindo o ângulo de ataque e, portanto, o torque exercido e a velocidade do rotor.

No caso do controle por “*stall*” passivo ativo, o desenho do perfil das pás faz com que, a altas velocidades do vento, crie-se turbulência na parte posterior, havendo perda de sustentação, e, portanto, diminuição do torque no rotor. As pás são fixas, é o seu perfil que confere propriedades aerodinâmicas para eliminar o excesso de energia cinética dos ventos e evitar sua transmissão ao rotor. A vantagem desse tipo de controle está em sua simplicidade: não é necessário um sistema de controle do ângulo de passo e sua manutenção é mais simples por haver menos peças móveis. As desvantagens são: a vibração gerada pela turbulência, o que gera ruídos e desgaste das peças devido a essa vibração.

Uma combinação dos dois métodos anteriores é o controle por “*stall*” ativo, em que as pás também podem mudar o ângulo de passo, porém em sentido contrário ao recomendado no caso do controle por “*pitch*”. Em outras palavras, no instante em que a velocidade do vento atingisse um valor crítico, as pás seriam rotacionadas para aumentar o ângulo de passo e haver diminuição da sustentação e turbulência na parte posterior das pás, de forma a consumir o excesso de energia do vento. A principal vantagem desse método é o controle mais preciso da potência, sendo possível operar em regiões próximas do máximo de potência.

Uma turbina eólica é formada por um aerogerador (conjunto da hélice, rotor, transmissor e conversor), uma bateria (no caso de um sistema isolado) e de uma torre de sustentação. KUIK descreveu a evolução na produção dos aerogeradores desde 1985, no tamanho e na potência. A tecnologia dos aerogeradores na década de 2000 permite gerar energia a uma potência de 4.500 kW numa turbina, utilizando uma hélice com diâmetro de 112 m (*apud* TOLMASQUIM, 2004, p.192).

A tecnologia mais adotada atualmente para a produção de eletricidade ligada à rede utiliza turbinas eólicas com as seguintes características: eixo de rotação horizontal, três pás, alinhamento ativo, gerador de indução (assíncrono) e estrutura não-flexível.

Com relação à velocidade dos ventos, é necessária uma média anual maior do que 6 m/s com valor limite de 25 m/s (acima do qual a estrutura da turbina fica comprometida, por problemas de resistência do material de que é constituído). Esse regime depende de fatores climáticos e de relevo.

Na construção de um parque eólico deve-se providenciar um EIA (Estudo de Impacto Ambiental) e avaliar os aspectos relativos à instalação dos estaleiros (das turbinas eólicas), incluindo a abertura de caminhos, e aqueles relativos às obras (emissões, deposição de resíduos, patrimônio arqueológico, impacto sobre o solo e as águas, entre outros). Na fase de operação, há de se considerar os impactos visuais, acústicos (emissão de ruído), interferência nas transmissões de ondas de rádio e microondas (interferência eletromagnética). Porém, o ponto decisivo na escolha da opção eólica reside na avaliação dos custos econômicos, o que depende da eficiência da planta. Esta depende de fatores: (i) o regime de ventos, dependente do clima e da geografia do local; (ii) a eficiência da turbina instalada, determinada pelo tamanho do rotor e da altura em que é instalado e da eficiência de seus componentes. Uma forma de sintetizar esses efeitos e obter uma estimativa da energia efetivamente fornecida por uma planta eólica é o indicador Fator de Capacidade,

$$FC = \frac{E_g \text{ (ano)}}{P_n \times 8760 \text{ (horas)}}$$

onde FC é o fator de capacidade em %, E_g é a energia gerada no ano, e P_n é a potência nominal disponibilizada ao sistema. Os valores típicos para uma região com bons regimes de vento (cuja velocidade é maior do que 7 m/s) são $35\% < FC < 45\%$. No caso da fonte eólica, a produção de energia depende não só da velocidade do vento, como de sua frequência. Por esse motivo, um pré-requisito para a instalação de um parque eólico é o mapeamento do regime dos ventos em uma dada região considerando um período necessário para estimar variações temporais (sazonais, entre estações) e geográficas (relevo, cobertura vegetal, altura da medição). No Brasil, foi realizada uma ampla pesquisa que culminou no trabalho *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro*. A partir desse estudo preliminar, a decisão de implantar parques eólicos deve aprofundar o conhecimento das regiões prospectadas, com uma medição mais detalhada do local e com o uso de modelos de simulação do regime de ventos. A primeira Turbina Eólica no Brasil foi instalada em 1992 na ilha de Fernando de Noronha, com uma potência de 75kW, hoje classificada como de pequeno/ médio porte⁹.

⁹ Classificação de Turbinas Eólicas por potência: Turbinas de grande porte $P \geq 500$ kW; turbinas de médio/pequeno porte $P < 500$ kW.

3.3 Tecnologia Fotovoltaica

O sol é a fonte primária de energia do planeta Terra, que recebe anualmente $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia fora da atmosfera. Aproximadamente 30% da energia é refletida para o espaço, 47% faz evaporar a água dos oceanos, rios e lagos, 16% aquece o solo e 7% aquecem o ar. REIS (2007, p.152) aponta que a captação da energia solar depende de fatores geográficos, como a altitude e a região do globo, e por isso é necessário adotar valores médios para medir o potencial de captação de energia.

Tabela 1: Iluminação máxima em condições ideais (céu claro, sem nuvens ao meio-dia)

Altitude	Iluminação Máxima
nível do mar	1,000 kW/m ²
1.000m	1,050 kW/m ²
Altas Montanhas	1,100 kW/m ²
Fora da Atmosfera	1,377 kW/m ²

Fonte: REIS (2007, p.152)

A energia solar pode ser utilizada, basicamente, de duas formas: (i) térmica: utilização do calor a partir da radiação solar, para o aquecimento de água, secagem de produtos agropecuários e geração de energia elétrica através de processos termoelétricos; (ii) fotovoltaica: geração de energia elétrica.

Com respeito à produção de energia elétrica através da fonte fotovoltaica, as principais aplicações são:

- ? Aparelhos isolados e pequenos dispositivos, como calculadoras, relógios, radares em estradas, transmissores de OEM (ondas eletromagnéticas) em locais isolados;
- ? Fonte de energia para satélites e estações espaciais;
- ? Eletrificação de áreas não cobertas pela rede elétrica, normalmente regiões rurais isoladas. É chamado de sistema autônomo ou *off-grid*;

- ? Abastecimento de sistemas de controle (alarmes contra incêndio, controle de sistemas de transporte, etc.);
- ? Sistema interligado: coletores solares com células fotovoltaicas ligadas a transformadores para complementar o abastecimento residencial, comercial e industrial. O excedente de energia produzida pode ser disponibilizado à rede;
- ? Estações fotovoltaicas para a produção de energia elétrica

A fonte Fotovoltaica (PV) é, de acordo com GOETZBERGER (2005, p.1), a maneira mais direta de converter a energia radiante solar em eletricidade, definida como a produção de uma diferença de potencial entre dois eletrodos atrelados a um sistema sólido ou líquido, após a incidência de luz sobre esse sistema. REIS (2007, p.152) descreve um “sistema fotovoltaico de produção de energia elétrica” como constituído de “módulos em painéis fotovoltaicos e de outros equipamentos [...], que transformam ou armazenam a energia elétrica para que possa ser utilizada facilmente pelo usuário”. Esses sistemas utilizam propriedades de materiais semi-condutores e são baseadas em módulos denominados células fotoelétricas.

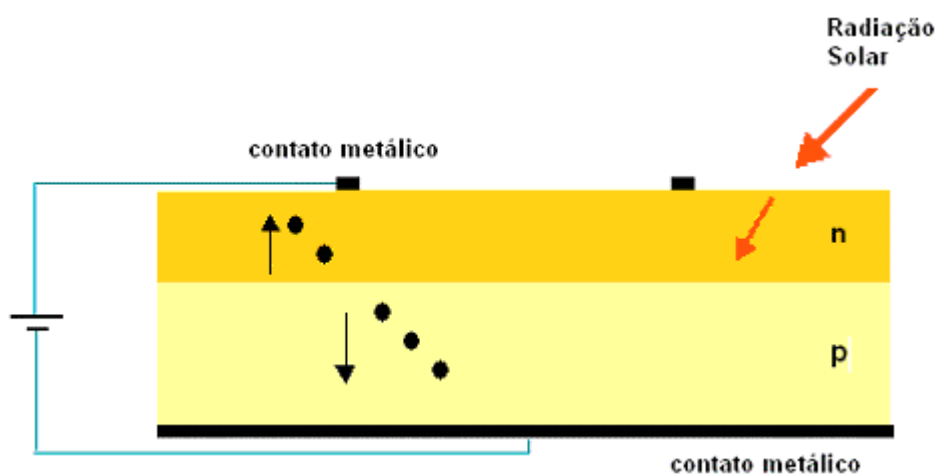


Figura 2 :Esquema de uma célula fotoelétrica

A célula mais comumente usada é composta de duas camadas constituídas de compostos de silício, material semicondutor. O silício puro a uma temperatura

normal (25°C) não conduz bem cargas elétricas, pois é um semicondutor. Para alterar essa propriedade, são acrescentados outros elementos, num processo denominado de dopagem. Na primeira camada são acrescentadas partes de fósforo, fazendo com que o composto tenha excesso de cargas negativas (silício tipo N), e na segunda camada acrescenta-se boro, obtendo-se um excesso de cargas positivas (silício tipo P).

Ao irradiarem-se fótons na superfície do módulo, os elétrons da camada N são excitados (adquirem energia dos fótons) e movem-se no sentido da superfície da camada N. Na junção P-N, há falta de elétrons na camada N, que é contrabalançado com elétrons provenientes da camada P. Dessa maneira, cria-se um campo elétrico entre as duas camadas e uma diferença de potencial elétrico entre as duas superfícies externas, cada uma ligada a um material condutor que, conectados num circuito elétrico, vão gerar corrente elétrica contínua. As opções de tecnologia para o silício foram descritas por LUQUE & HEGEDUS (2003, p.20):

“Células de silício na forma monocristalina [mono-Si] ou policristalina [poli-Si] respondem por cerca de 90% do mercado fotovoltaico. Embora a eficiência de 25% e 20%, respectivamente, tenha sido verificada (na UNSW, Austrália), a diferença na performance dos módulos das duas tecnologias é muito menor. Eles têm eficiência média de 14% e 12%, respectivamente. Apesar de três décadas de pesquisa e fabricação, os cientistas e engenheiros ainda estão encontrando caminhos para melhorar a performance das células fotovoltaicas de silício. Eles estão também encontrando caminhos para reduzir o custo.”

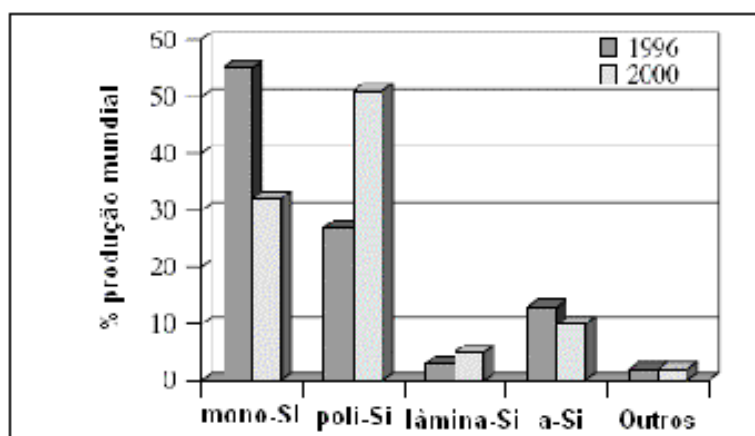


Figura 3 :Participação na produção mundial de materiais para PV

Fonte: LUQUE & HEGEDUS, 2003, p.21

Devido à alta complexidade do processo de produção do silício cristalino e, conseqüentemente, ao seu alto custo, materiais alternativos vêm sendo pesquisados. O silício amorfo (a-Si), ou de lâmina, é confeccionado a partir da disposição de finas camadas de silício sobre superfícies de vidro ou metal. Porém, sua eficiência é menor, em torno de 7%. Outros elementos vêm sendo pesquisados, como os compostos de Selênio, Cobre e Índio (CIS) e Gálio (CIGS), citando como exemplos CuInSe_2 , CuGaSe_2 , CuInS_2 , e o $\text{Cu}(\text{In,Ga})(\text{S,Se})_2$. Em laboratório apresentam eficiência de até 19%, mas os módulos têm rendimento em torno de 13%.

Tabela 2: Características dos principais materiais PV

	Si	CIGS/ CdTe	a-Si
1. Intervalo de banda entre 1,1 e 1,7 eV	+	+	+
2. Estrutura de banda direta	-	+	
3. Disponibilidade de material, e não-toxicidade	+	-	+
4. Técnica de deposição fácil e reproduzível, adequada para produção em grandes áreas com		+	+
5. Eficiência de conversão fotovoltaica boa	+	+	-
6. Estabilidade no longo-prazo	+	+	(+)

Fonte: GOETZBERGER (2005, p.59),

O Telureto de Cadmio (CdTe) é um bom material para ser aplicado em finas camadas (filmes) com eficiência em laboratório até 16% e nos módulos até 10%. Sua fabricação é apropriada para a produção em grande escala, porque o material não requer grau de pureza elevado, e por sua fácil aplicação nos módulos. A maior desvantagem é a sua toxicidade.

GOETZBERGER (2005, p.81) apresenta um cenário dos materiais fotovoltaicos baseado em tendências de eficiências ao longo do tempo. O autor aponta três tendências principais: (i) a continuação da predominância dos materiais de Silício mono e policristalinos; (ii) a emergência de novos materiais cristalinos aplicáveis em camadas de espessura média; ou (iii) a produção em massa de materiais aplicáveis em camadas finas, como o a-Si, CIS ou o CdTe. Baseando-se em curvas de eficiência ao longo do tempo das tecnologias comerciais, o mesmo autor observa que o CIS tem um potencial maior de limite de eficiência do que o silicóneo cristalino e o amorfo.

No presente trabalho, focar-nos-emos na produção de energia fotovoltaica em larga escala (Estações Fotovoltaicas) para avaliar essa modalidade como uma alternativa às fontes tradicionais. A participação da produção fotovoltaica interligada à rede vem aumentando em relação aos sistemas *off-grid*, principalmente devido à expansão da utilização em sistemas domiciliares/ comerciais interligados à rede.

A produção de energia fotovoltaica em grandes estações teve um crescimento nos últimos anos. Não se tem uma definição consensual sobre a escala das estações fotovoltaicas, portanto, adotar-se-á uma definição de GOETZBERGER (2005, p.182):

Estações fotovoltaicas pequenas: =1kWp

Estações fotovoltaicas médias: entre 1 kWp e 1MWp

Estações fotovoltaicas grandes: = 1 MWp

As estações fotovoltaicas de porte médio e grande tiveram elevadas taxas de crescimento em relação à potência instalada entre 1995 e 2007, fortemente influenciadas pelos investimentos realizados por países como Alemanha, Espanha e Estados Unidos em parques fotovoltaicos.

A figura a seguir representa a participação relativa dos sistemas interligados à rede e os sistemas *off-grid* no período 1992-2007, evidenciando o aumento da participação dos sistemas conectados em termos de potência instalada.

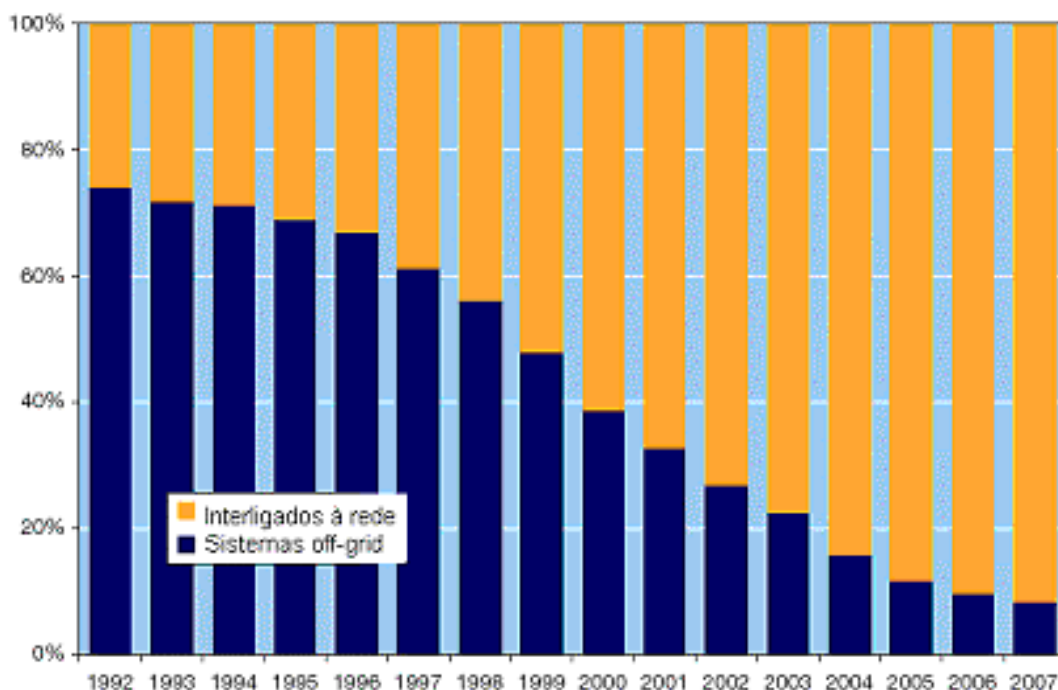


Figura 4 : Participação no mercado mundial no mercado de produção de energia elétrica PV

Fonte: IEA, Trends in Photovoltaic Applications: Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2007, p.8

A economia de escala faz com que o custo por unidade de potência seja menor em parques de médio e grande porte. GOETZBERGER apresenta na figura a seguir uma estrutura típica de custos:

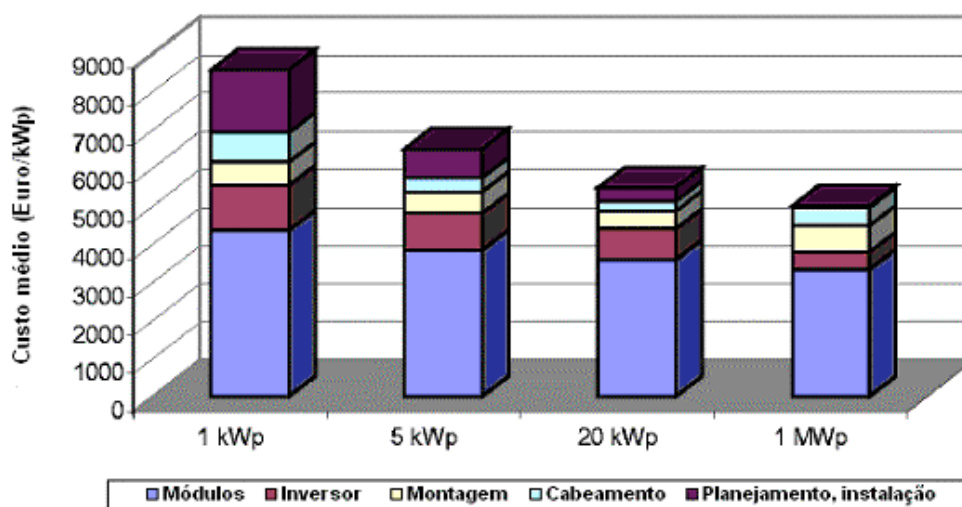


Figura 5 : Estrutura típica de custos de Estações Fotovoltaicas

Fonte: GOETZBERGER, 2005, p.183

Em termos percentuais, o principal componente de custo é o módulo PV, que corresponde a 51 a 67% do custo médio por kWp. Com o aumento da escala há um decréscimo da fração do planejamento e instalação, que são custos administrativos fixos. Os custos com o inversor ficam em torno de 15% do total, com exceção das estações com 1 MWp.

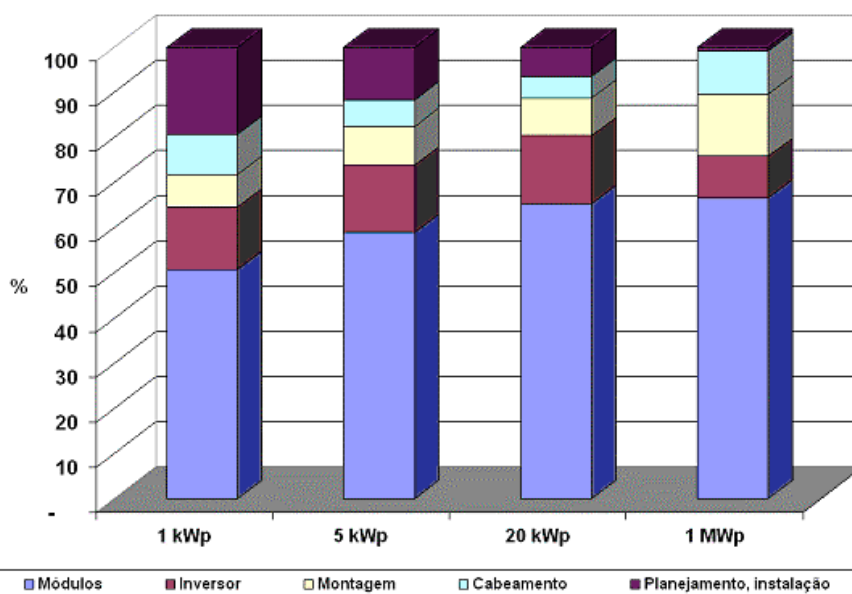


Figura 6: Percentagem da contribuição dos principais componentes ao custo médio de uma estação PV na Alemanha em 1998

Fonte: adaptado de GOETZBERGER, 2005, p.183

Para a instalação de um módulo fotovoltaico interligado à rede é necessário o uso de um inversor, pois o tipo de energia produzida por um módulo fotovoltaico é de corrente contínua. O inversor tem o papel de transformar corrente contínua em corrente alternada sincronizada com a frequência da rede.

Inversores comutados em linha: foram os primeiros utilizados para conectar os painéis fotovoltaicos à rede. Utiliza um chaveador simples e um transformador, que produz uma corrente alternada na forma de onda retangular. Não oferece alta qualidade de corrente ou voltagem, devido ao tipo de onda de saída retangular.

Inversores chaveados auto-comutáveis. Utiliza topologia ou material que permite converter corrente contínua em corrente alternada num formato de onda mais próximo de uma curva senoidal. Dissipam menos energia do que os inversores em linha. É o mais utilizado para aplicações interligadas à rede. O estado da arte dos

inversores permite a entrega de energia de boa qualidade, conforme atesta o relatório do IEA:

“De acordo com a pesquisa, os inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede têm performance muito boa. Eles têm alta eficiência de conversão e fator de potência que excede 90% para uma ampla faixa de operação, enquanto a distorção total de harmônicos (THD) é menor do que 5%. Custo, tamanho e peso de inversores fotovoltaicos reduziram-se recentemente pelo progresso técnico e de design de circuitos [...]” (IEA, 2002, p.iv)

A busca por fontes de energia elétrica não poluidoras fez com que incentivos à pesquisa e aplicação de sistemas fotovoltaicos aumentasse. Em termos ambientais, a utilização de fontes fotovoltaicas pode evitar a emissão de poluentes caso uma quantidade equivalente de energia fosse produzida por fontes de combustível fóssil. O órgão responsável pelas pesquisas de energia alternativa nos Estados Unidos, o NREL, estima que a produção de energia fotovoltaica deixe de emitir 16 kg de NO_x, 9 kg de SO_x, 0,6 kg de particulados, e entre 600 e 2300 kg de CO₂ por ano (NREL, 2003, p.10).

A produção de energia elétrica em larga escala através de fontes fotovoltaicas ainda não é uma opção viável em termos de custo em comparação com outras fontes tradicionais. Para incentivar o aumento da escala de produção, e, portanto, diminuir o custo por kWp instalado e o custo da unidade de energia, faz-se necessário mecanismos públicos de incentivo.

4 ESTUDOS DE CASO: FONTES EÓLICA E FOTOVOLTAICA

4.1 Introdução

Uma vez delineadas as tecnologias para a produção de energia elétrica em larga escala através de fontes eólicas e fotovoltaicas, apresentaremos dois casos para avaliar os indicadores de sustentabilidade.

A avaliação das diversas fontes de energia concentra-se nos indicadores de potência (kW) e de geração de energia (kWh).

SAN MARTIN (1989, p.3) aponta que “os efeitos ambientais da produção de energia em todos os estágios do ciclo de produção devem ser vistos como uma junção direta da produção final de energia. Apenas ao analisar o ciclo completo esses efeitos podem ser consistentemente avaliados”.

O primeiro indicador a ser considerado é a emissão de CO₂ por unidade de energia produzida.

Tabela 3: Emissões de CO₂: Tecnologias de Produção de Energia Elétrica (Toneladas por GWh)

Tecnologias	Extração de Combustível	Construção	Operação	Total
Usina a Carvão Convencional	1,0	1,0	962,0	964,0
Gaseificador de Leito Fluidizado (AFBC)	1,0	1,0	960,0	962,0
Termoelétrica a Gás de Ciclo combinado (IGCC)	1,0	1,0	748,9	750,9
Termoelétrica a óleo combustível	-	-	726,2	726,2
Termoelétrica a gás	-	-	484,0	484,0
Conversão de energia térmica oceânica	NA	3,7	300,0	303,7
Geotérmica	0,3	1,0	55,5	56,8
PCH (*)	NA	10,0	NA	10,0
Reator Nuclear	1,5	1,0	5,3	7,8
Eólica	NA	7,4	NA	7,4
Fotovoltaica	NA	5,4	NA	5,4
Térmica Solar	NA	3,6	NA	3,6
Grandes Hidroelétricas	NA	3,1	NA	3,1

(-) não encontrado ou não adequado para análise; (NA): não aplicável.

Fonte: SAN MARTIN, Robert L., 1989, p.6

A tabela acima mostra um comparativo de emissões de CO₂ dos principais meios de produção de energia elétrica, nas fases de construção, extração de

combustível e de operação. Nota-se que as tecnologias eólica e fotovoltaica têm emissões somente na fase de construção, independente da quantidade de energia produzida. Essas emissões são decorrentes, em sua maior parte, do uso de materiais como o aço e o cimento para a construção das fundações e das torres no caso dos parques eólicos.

Uma dificuldade encontrada na apuração e comparação dos indicadores do mercado fotovoltaico é que muitas fontes de dados agrupam diferentes plataformas de produção: sistemas PV *off-grid* e conectados à rede. Mesmo quando há essa separação, os sistemas conectados à rede agrupam sistemas de diferentes escalas de potência, o que pode enviesar análises de eficiência e desempenho. Assim, sugere-se o estabelecimento de agrupamentos ou “quebras”, que podem fornecer visões parciais com objetivos diferentes de análise. Por exemplo, quando se quer avaliar a eficiência ou custos do mercado fotovoltaico, é recomendado comparar grupos que tenham equivalência em termos de potência, pois a economia de escala é determinante. Já para avaliar aplicações particulares, é necessário comparar dentro do mesmo contexto, por exemplo, no caso de aplicações *off-grid*, pode-se comparar o uso de sistemas fotovoltaicos autônomos contra sistemas que utilizam geradores a diesel ou biocombustível.

4.2 Parque Eólico Osório

O Parque Eólico Osório é um complexo composto por 3 parques: Osório, Sangradouro e Índios, com capacidade total instalada de 150 MW (75 turbinas de 2 MW), e torres de alturas de 98 m. É administrado pela companhia Ventos do Sul S.A, uma Sociedade de Propósito Específico (SPE), composta pela empresa espanhola Enerfin Enervento S.A, a brasileira Wobben (fabricante de aerogeradores, subsidiária do grupo alemão Enercon), e a CIP Brasil (constituída por dirigentes da Ventos do Sul).

A Ventos do Sul S.A. possui um contrato de compra e venda de energia com a Eletrobrás por um prazo de 20 anos, a partir do segundo semestre de 2006. Esse contrato foi assinado em 2004 e enquadra-se no PROINFA, com estimativa de

produção de 425 GWh e emissões evitadas em 148.325 tCO₂e por ano. O projeto foi qualificado como MDL, e foi submetido à Junta Executiva do MDL. Dessa maneira, os indicadores a serem acompanhados seguem a metodologia requerida para projetos MDL de grande porte. Os dados de produção e emissões evitadas foram retirados do DCP, que utiliza a metodologia ACM0002¹⁰ para o cálculo da linha de base.

A linha de base BE_y é calculada a partir da energia entregue à rede:

$$BE_y = EG_y * EF_{rede,OM,y},$$

onde EG_y é a eletricidade líquida anual gerada a partir do Projeto e entregue à rede e EF_{rede,OM,y} é a margem em operação da rede ou Fator de Emissão da rede. O último termo é uma combinação da emissão de todas as fontes de produção de energia elétrica à rede e no caso do Brasil é calculado pelo Operador Nacional do Sistema (ONS), que administra o Sistema Elétrico Brasileiro, dividido em dois sub-sistemas:

? sub-sistema Sul/Sudeste/Centro-Oeste (S-SE-CO);

? sub-sistema Norte/Nordeste (N-NE)

A rede considerada é o sub-sistema S-SE-CO. Portanto, os aportes de energia do sistema N-NE para o sistema S-SE-CO é considerado como importação por este. Adota-se uma fórmula de ajuste, considerando o tipo de fonte:

$$EF_{rede,OM,y} = EF_{quad,OM,y} = \frac{(1-\lambda y) * \sum F_{i,j,y} * COEF_{i,j} + \lambda y * \sum F_{i,k,y} * COEF_{i,k}}{\sum GEN_{j,y}}$$

onde:

? EF_{ajust,OM,,y} é o fator de emissão da rede ajustado,

¹⁰ CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM Executive Board. *Approved consolidated baseline and monitoring methodology ACM0002: "Consolidated baseline methodology for grid-connected electricity generation from renewable sources"*, versão 8, Nov/2008.

? o índice k corresponde às fontes fornecedoras à rede compostas por plantas de baixo custo e despacho obrigatório;

? o índice j são as outras fontes fornecedoras (complemento), incluindo importações de energia da rede.

? α_y é a fração de tempo em que fontes de baixo custo e despacho obrigatório estão na margem,

? $F_{i,j,y}$ é a quantidade de combustível i consumida pelas fontes j no ano y;

? $COEF_{i,j,y}$ é o coeficiente de emissão de CO_2 do combustível i.

? $GEN_{j,y}$ é a eletricidade fornecida à rede pela fonte j.

A equação da redução de emissões, mostrada no capítulo 2, fica da seguinte maneira:

$$ER_y = EG_y * EF_{rede,OM,y} - (L_y + PE_y),$$

Os termos L_y e PE_y são desprezíveis no caso de projetos de parques eólicos, fazendo com que a redução de emissões seja igual à linha de base.

A metodologia MDL para projetos eólicos estabelece que o fator de emissão da rede com a implantação do projeto ($EF_{rede,OM,y}$) seja uma média ponderada entre o fator de emissão da rede já existente e uma estimativa da contribuição das fontes eólicas. O padrão preferencial para a ponderação do fator de emissão da rede em operação ($EF_{OM,y}$) e o da rede em construção ($EF_{BM,y}$) é 50%/50%, exceto para projetos fotovoltaicos e eólicos, cuja proporção é de 75%/25%, respectivamente (CDM, 2008b, p.13). Essa definição da Junta Executiva do MDL tende a favorecer os projetos PV e eólicos em detrimento de projetos de redução de emissões que utilizam outras fontes, incluindo hidroelétrica, geotérmica e nuclear.

$$EF_{rede,OM,y} = 0,75 * EF_{OM,y} + 0,25 * EF_{BM,y}$$

Onde $EF_{OM,y}$ é o fator de emissão da rede em operação e $EF_{BM,y}$ o fator de emissão da rede em construção. $EF_{OM,y}$ foi calculado com base na geração de energia nos anos de 2002 a 2004, por todas as fontes, incluindo as de baixo custo e

de despacho obrigatório, o que permite calcular o parâmetro λ_y . Obteve-se o valor 0,4332 tCO₂e/MWh para $EF_{OM,y}$. Por sua vez, o fator de emissão de parques eólicos foi calculado com base nos cinco projetos mais recentes construídos no Brasil:

$$EF_{EM,y} = \frac{\sum F_{i,m,y} * COEF_{i,m}}{\sum GEN_{m,y}}$$

Obteve-se o valor de 0,0962 tCO₂e/MWh. Portanto, o fator de emissão da rede com o projeto é de 0,349 tCO₂e/MWh.

Tabela 4: Indicadores de referência, Parque Eólico Osório

Indicador	Descrição	Tipo de dado	Unidade	Fonte dos dados
1. EG_y	Elettricidade fornecida à rede pelo Projeto.	Obtido durante todo o tempo de vida do projeto.	MWh	Obtido pela Ventos do Sul Energia, o desenvolvedor do projeto
2. EF_y	Fator de emissão de CO ₂ da rede.	0,349	tCO ₂ e/MWh	Calculado
3. $EF_{OM,y}$	Fator de emissão de CO ₂ da Margem de Operação da rede	0,4332	tCO ₂ e/MWh	Esse valor foi calculado usando os dados do ONS
4. $EF_{EM,y}$	Fator de emissão de CO ₂ da Margem de Construção da rede.	0,0962	tCO ₂ e/MWh	Esse valor foi calculado usando os dados do ONS
10. λ_y	Fração de tempo em que fontes de baixo custo e despacho obrigatório estão na margem.	$\lambda_{2002} = 0,5053$ $\lambda_{2003} = 0,5312$ $\lambda_{2004} = 0,5041$	-	Esse valor foi calculado usando os dados do ONS

Fonte: Documento de Concepção de Projeto, Parque Eólico Osório, 2004.

Para estimar os ganhos (reduções de emissões, ER_y) futuros é necessário projetar a energia (EG_y em MWh) gerada pelo projeto e multiplicar por $EF_{rede,OM,y}$ (0,349 tCO₂e/MWh) para os anos vindouros. Pode-se reavaliar $EF_{rede,OM,y}$ com base na atualização dos dados de geração de energia para a rede, com o objetivo de ajustar os valores estimados.

Uma crítica pode ser feita na metodologia adotada para os projetos MDL. O padrão ACM0002 não obriga a contabilização das emissões referentes à etapa de construção. Como foi visto na introdução do capítulo atual, as emissões referentes à etapa de construção de um parque eólico corresponde a 1,5% das emissões de uma usina termoeletrica a gás e 0,7% das emissões de uma usina a carvão. É importante

registrar os impactos de todas as fases do projeto, inclusive a desativação do parque eólico, que resultará em emissões relativas ao uso de equipamentos e à destinação do material sobressalente.

No caso do Parque de Osório, em cada uma das 75 bases de sustentação dos pilares foram utilizados 430 m³ (959 toneladas) de concreto e 60 toneladas de aço. Cada uma das 75 torres consumiu 810 toneladas de concreto. Estudos da indústria do aço estimam em 1,7 tCO₂e a emissão decorrente de uma estrutura de aço, sendo 99% na fase de produção, o que resulta 7.650 tCO₂e em emissões. Assim como o aço, a produção do cimento é um processo energo-intensivo. Para cada tonelada de cimento produzido, é emitida uma tCO₂e, dividido igualmente entre a queima de combustível e a calcinação do calcário, cujo subproduto é o CO₂. A emissão decorrente da utilização do concreto foi de 132.675 tCO₂e. Somando-se os efeitos da utilização do concreto e do aço, tem-se 140.325 tCO₂e.

4.3 Parque Fotovoltaico de Donghae (Coréia do Sul)

Com o intuito de utilizar uma metodologia comum para a definição dos indicadores, procurou-se um parque fotovoltaico registrado como um projeto de MDL. Não se encontrou um projeto de grande porte, devido a fatores particulares de implementação de projetos em países não-Anexo 1, como salienta a Associação da Indústria Fotovoltaica Européia: “[...] um dos problemas é o de que, nos países em desenvolvimento, os projetos fotovoltaicos são pequenos e o agrupamento de vários projetos seria necessário para minimizar os custos de transação. [...] Até Nov/2007, 849 projetos de MDL foram registrados, dos quais apenas 2 eram projetos fotovoltaicos, de acordo com as estatísticas oficiais da FCCC”. (EPIA, p.14)

Um dos projetos foi registrado em 28/04/2006 e corresponde ao uso de kits fotovoltaicos para a eletrificação de casas rurais no Marrocos, atendendo a 101.500 moradias e um total de 7,7 MW. O estudo de caso da presente monografia foi o registrado em 21/08/2006, o Parque Solar de Donghae, com potência de 1 MW localizado na região nordeste da Coréia do Sul, pelo fato de ser um projeto fotovoltaico interligado à rede e com dados disponíveis. É um projeto de pequena

escala¹¹ (<15 MW) pelos parâmetros estabelecidos pela Junta Executiva do MDL, construído nas instalações e no estacionamento de uma usina termoeletrica a carvão, pré-existente em Donghae.

Um fator a ser considerado na decisão de implementar um parque fotovoltaico é o aproveitamento da terra. Isso pode afetar a penetração de uma determinada tecnologia, assim como sua taxa de crescimento. Por exemplo, o declínio da participação do Japão na capacidade instalada pode ser explicado pelo alto custo da terra. A implementação de parques fotovoltaicos esbarra na necessidade de grandes áreas que recebam luz solar. Nesse país utilizou-se telhados de casas ou edifícios comerciais, ou seja, terreno já aproveitado. Por esse motivo, o crescimento da potência instalada no Japão não acompanha outros países como Alemanha, Espanha e China, sendo que nos dois primeiros, houve a instalação de grandes parques e no último, um crescimento na produção de placas.

A usina de Donghae é abastecida com carvão e tem potência de 400 MW. São duas as principais vantagens na construção de um parque solar nesse local:

? aproveitamento da estrutura já existente de linhas de transmissão,

? não requer o uso adicional de terras num país de alta densidade populacional, 492 habitantes/km², ocupando o 11^a posição na lista dos países.¹²

O parque solar foi inaugurado em 2006 e estimou-se uma produção anual de 902 MWh e emissões evitadas em 565 tCO₂e por ano, ao longo de 10 anos. Mais uma vez, será utilizada a equação da redução de emissões:

$$ER_y = BE_y - (Ly + PE_y),$$

sendo que tanto as emissões de fuga (Ly) e as emissões relativas ao projeto (PE_y) são desprezíveis.

¹¹ Pela definição pela Junta Executiva do MDL para projetos de entrega de energia elétrica à rede, que inclui todas as fontes. Porém, dentro do contexto de um parque fotovoltaico, ele é considerado um projeto de grande porte por GOETZBERGER (2005, p.182)

¹² Extraído de: <http://www.worldatlas.com/aatlas/populations/ctydensityh.htm> (acessado 28/12/2008)

De acordo com a metodologia do MDL vigente para projetos fotovoltaicos, considerando o fato de que o projeto é de pequena escala, a linha de base (BEy) pode ser calculada por um dos seguintes métodos:

(i) a média aritmética do fator de emissão da margem de operação aproximada¹³ e do fator de emissão da margem em construção de potência adicionada ao sistema recentemente¹⁴;

OU

(ii) a média ponderada das emissões do mix de geração atual.

O projeto Donghae optou pela primeira alternativa. A margem de operação aproximada é dada por:

$$EF_{OM, \text{aprox}, y} = \frac{\sum F_{i,m,y} * COEF_{i,m}}{\sum GEN_{m,y}}$$

- ? $EF_{OM, \text{aprox}, y}$ é o fator de emissão da rede aproximado,
- ? índice m são as fontes fornecedoras.
- ? $F_{i,m,y}$ é a quantidade de combustível i consumida pelas fontes m no ano y, excluindo fontes hidroelétricas, geotérmicas, eólicas, biomassa, nuclear e solar;
- ? $COEF_{i,m}$ é o coeficiente de emissão de CO_2 do combustível i utilizada pelas fontes m;
- ? $GEN_{m,y}$ é a eletricidade fornecida à rede pela fonte m no ano y.

¹³ Exclui fontes hidroelétricas, geotérmicas, eólicas, biomassa, nuclear e solar

¹⁴ Máximo entre (i) 20% da capacidade em MW das plantas existentes, ou (ii) a capacidade das 5 plantas mais recentes.

Por sua vez, para o cálculo do fator de emissão da margem de construção foi escolhido o método de adição de capacidade recente que compoñha 20% da geração do sistema (em MWh). Os cálculos foram apresentados no DCP:

? fator de emissão da margem de operação aproximada (EF_{OM}) = 0,7807 tCO₂e/ MWh

? fator de emissão da margem em construção (EF_{BM}) = 0,4718 tCO₂e/ MWh

? fator de emissão combinada ($EF=0,5*EF_{OM}+0,5*EF_{BM}$) = 0,6262 tCO₂e/ MWh

? Energia elétrica gerada pelo projeto, anualmente = 902 MWh

Portanto, a redução de emissão (ERY), por ano é $0,6262*902 = 565$ tCO₂e.

4.4 Estudo comparativo entre as duas fontes alternativas estudadas

No estudo de dois projetos MDL, adotou-se um conjunto de indicadores padronizados, pois o objetivo final da documentação é estimar as unidades de emissão evitadas (tCO₂e), que serão convertidas em RCE's. Os resultados foram resumidos na tabela 6.

Tabela 5: Comparação entre os dois projetos MDL (Eólica e Fotovoltaica)

	Escala	Emissões evitadas por ano (tCO ₂ e)	Energia produzida por ano (MWh)	Potencia (MW)	Fator de Capacidade	Fator de Emissão da Margem de Operação	Fator de Emissão da Margem de Construção	Fator de Emissão (CO ₂ e/MWh)
A - Eolica (Osório)	Grande	148.325	425.000	150	32%	0,4332	0,0962	0,349
B - PV (Donghae)	Pequena	565	902	1	10%	0,7807	0,4718	0,626
A:B		263	471	150				

Fonte: Compilação própria dos dados de projeto

As diferenças na eficiência em redução de emissões dos dois projetos decorrem da estrutura de produção de energia elétrica em cada país analisado. Apesar da razão entre a energia produzida no Parque de Osório e a energia produzida no Parque Donghae ser de 471, a razão entre as emissões evitadas é de apenas 263. No

Brasil (sub-sistema S-SE-CO), o ganho decorrente da produção de 1MWh por fontes alternativas é menor do que o equivalente produzido na Coréia do Sul, por ser sua estrutura de produção baseada em combustíveis fósseis, principalmente o carvão. Outra forma de comprovar esse fato é o cálculo do fator de emissão da margem de operação. No caso do sistema sul-coreano, o valor de 0,7807 é pouco maior do que o dobro do sub-sistema S-SE-CO brasileiro, cujo valor é de 0,4332. Por esse motivo, na Coréia do Sul, é mais fácil viabilizar um projeto MDL, mesmo com baixo fator de capacidade e de pequeno porte. Na medida em que o mix torne-se menos dependente de combustíveis fósseis, os projetos teriam que ser mais eficientes em termos de produção de energia (por exemplo, com maior fator de capacidade).

Observou-se que, na metodologia preconizada, não são computadas as emissões decorrentes da execução do projeto. No caso do Parque Eólico de Osório, verificou-se que esse termo não computado não pode ser desprezado, devido à grande quantidade de materiais (cimento e aço) necessários. As regras dispostas pela Junta Executiva do MDL ainda não estão totalmente consolidadas, pois os projetos encaminhados para a sua aprovação também estimulam o aperfeiçoamento da metodologia de cálculo ao descreverem situações particulares do contexto em que os projetos estão inseridos.

A consolidação de uma metodologia concisa e amplamente divulgada é essencial para o sucesso da implementação dos projetos MDL. O item mais crítico na definição das emissões evitadas é o cálculo da linha de base. A emissão evitada por unidade de energia produzida, ou fator de emissão da rede é um indicador regional. O projeto do Parque Eólico de Osório tem como referência a rede brasileira, cuja participação de fontes renováveis faz com que a emissão evitada seja menor do que um projeto equivalente em outro país. O impacto do projeto de Donghae é praticamente duas vezes maior, se considerarmos esse indicador, pois a participação de fontes que utilizam combustível fóssil é maior. Com as regras atuais, considerando os outros custos dados, o investimento em um projeto com as mesmas especificações teriam retornos diferentes, em termos de tCO₂e ou RCE.

5 Conclusões

As evidências do aquecimento global forçaram os países a discutir instrumentos para resolver esse problema, através da representação nas Conferências Mundiais. É uma questão complexa, que envolve vários protagonistas com interesses distintos e ainda não se chegou a um consenso na forma de mitigar os efeitos climáticos decorrentes do crescimento econômico, objetivo do modelo de produção industrial.

Resultado do amadurecimento de propostas, o Protocolo de Kyoto foi um marco no que diz respeito ao estabelecimento de metas quantitativas de redução de emissões de GEE. Não se tem dúvidas de que o problema deve ser tratado em nível global, e não restrito a um país ou região. Uma solução local simplesmente teria o efeito de realocar geograficamente o problema. Por exemplo, se um país aplicasse impostos sobre a emissão de GEE, certamente teria como resultado uma redução local de poluentes, mas haveria um forte incentivo para realocar a produção para outros países.

As metas de redução de emissão de GEE e o estabelecimento de um mercado de créditos de carbono podem ajudar a diminuir o efeito de acomodação após o estabelecimento de uma política. Haverá incentivos para projetos que evitem emissões e que aumentem a eficiência do uso de recursos.

O MDL ofereceu a possibilidade de acompanhamento de indicadores de emissão de GEE, que por sua vez geram efeitos no clima, objeto de estudo e atenção da entidade, a UNFCCC, que administra o acordo climático (Protocolo de Kyoto) e o mecanismo de flexibilização (MDL). Houve um esforço em adequar projetos nos países em desenvolvimento para beneficiar-se do fluxo de investimentos decorrente desse mecanismo, e portanto, alguns indicadores estão sendo desenvolvidos, medidos e acompanhados.

De qualquer modo, o incentivo ao uso de fontes eólicas e fotovoltaicas para a produção de energia elétrica é uma ação que terá frutos no longo-prazo, pois possibilitará o investimento em pesquisa motivado pela possibilidade de retorno financeiro. Isso aumentará a oferta e também diminuirá os custos de produção e o da

energia final, alavancando o mercado dessas fontes alternativas. Os projetos MDL também proporcionarão a difusão tecnológica, ou seja, a transferência de tecnologia gerada nos países ricos para os países em industrialização.

Os dados de projetos MDL são públicos, mas ainda não estão em formato de fácil extração de dados para realizar análises quantitativas. Esse é um aspecto importante no estabelecimento de um mercado de créditos de carbono: monitorar o comportamento dos signatários do tratado. Esse controle pode ser exercido em nível de representação governamental, com base em dados agregados, mas também pode ser exercido pela sociedade civil. Confrontar dados de projetos com a sua execução pode ser feito por indivíduos e organizações, e assim pode-se avaliar a qualidade dos projetos que são submetidos à aprovação pela Junta Executiva do MDL e da ação dos países que financiam esses projetos para a obtenção de RCE's.

Ainda existem questões não concluídas, como a existência de lobbys políticos que dificultam o estabelecimento de tratados e principalmente, a sua aderência (*compliance*). Esse é um fato que deve ser considerado para que um mercado possa ser estabelecido. Cabe a alguns países, como os da União Européia e o Japão, a liderança no processo de desenvolvimento de instrumentos, como o MDL, para que as distorções devido a interesses conflitantes possam ser tratados. Optou-se por um meio-termo: as metas estabelecidas inicialmente para os países industrializados foi um fator-chave para que a Federação Russa assinasse o Protocolo de Kyoto e então este passasse a vigorar. Por um lado, estabelecer metas utópicas incentiva os signatários a não as cumprirem, por outro, não quantificar objetivos é um caminho para esvaziar os resultados.

Nota-se a ausência de indicadores ambientais e sociais que não se encaixem no tema “emissões de GEE”. Esses indicadores são importantes para avaliar o impacto de um projeto no contexto em que se insere. Para avaliar essa questão, cabe notar que quantificar o resultado de um projeto em termos de redução de emissões de GEE é um desafio em si. Ainda existe a necessidade de aprimorar a metodologia de cálculo, principalmente no que se refere ao cálculo da linha de base de emissões. Atualizações às metodologias usadas são publicadas pela Junta Executiva do MDL, pois essa normatização passa por um processo de amadurecimento. Esta é uma

justificativa pela qual os projetos MDL não consideram uma gama maior de indicadores ambientais e sociais.

Outro fator importante a ser observado é a ausência de indicadores importantes para medir a redução em emissões de GEE decorrentes da execução do projeto. Do ponto de vista do investidor, o objetivo é maximizar o retorno do capital, e portanto, maximizar a redução em emissões. Dessa maneira, a iniciativa de incluir essas medidas deve partir da Junta Executiva do MDL, pois se a metodologia não regulamentar o cálculo da execução do projeto, o gestor do projeto não terá incentivos para reportar esses indicadores no DCP.

Ainda há lacunas com respeito à abrangência dos projetos de MDL, como por exemplo a preservação da floresta. O conceito de adicionalidade adotado pela Junta Executiva do MDL não é adequada para tratar o efeito líquido da ação de conservar a mata nativa. Aqui abre-se uma linha de pesquisa importante, que trata da necessidade de medir o valor dos serviços ambientais de preservação.

A metodologia de cálculo da linha de base deve ser bem estabelecida, estável, simples e conhecida pelos agentes econômicos, que nesse contexto são capazes de mensurar o risco e estabelecer taxas de retorno do investimento mais próximas do efetivado. Isso pode incentivar novos projetos, além de viabilizar projetos maiores, cujo risco medido com grande variância é hoje um fator impeditivo de seu financiamento.

Alguns detalhes representados no cálculo da linha de base indicam que há um incentivo para a implementação de projetos eólicos e fotovoltaicos, notadamente na proporção recomendada para os fatores de emissão da margem em operação e em construção: respectivamente 75% e 25% contra 50% e 50% para as outras fontes.

Ainda no que se refere ao cálculo da linha de base, o caso brasileiro merece atenção especial devido ao grande alcance territorial do Sistema Interligado. O cálculo atual considera macro-regiões (S-SE-CO e N-NE), o que pode provocar concentração de projetos devido a linhas de base distintas. Hoje são consideradas as adições de fontes de geração à rede, mas não são computados os efeitos da construção de linhas de transmissão, assim como as emissões de execução de projeto. Segmentar em regiões menores pode ajudar a medir o impacto de um projeto no

contexto local, e para isso deve-se aprimorar a coleta e divulgação de dados por fonte, o que permite medir a importação e exportação de energia por micro-região. Isso poderia viabilizar muitos projetos que têm importância numa localidade, mas que diluídos numa macro-região, têm a sua linha de base diminuída. Esse é o desafio de “pensar globalmente, agir localmente”.

Existe um campo de estudo para avaliar os projetos em relação a outros indicadores ambientais. Dentro do contexto do MDL, a inclusão desses indicadores depende da evolução da metodologia, da aceitação da importância de considerar todos os impactos ambientais e não somente o impacto climático. Com a ampliação do escopo dos projetos de MDL para englobar indicadores sociais e ambientais, será possível ampliar o grau de conhecimento para que melhores decisões possam ser tomadas.

Ainda há um longo caminho a trilhar para que se chegue a um acordo multilateral em que todos os países possam dar a sua contribuição. É necessário fazer com que o mercado de fontes alternativas de energia possam competir com igualdade de condições com os combustíveis fósseis, para que a utilização dos recursos naturais para alimentar o sistema produtivo não tenha como sub-produto o impacto no clima e no meio-ambiente. Isso depende de amplos debates, quantificação de metas, controle de processos, da monitoração dos resultados e do estímulo à adesão aos acordos multilaterais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRUZZINI, Marina Perla, *Análisis y propuesta para el proyecto de ley de uso eficiente de la energía en Argentina*, Santiago do Chile: CEPAL/ECLAC, 2000

AMARANTE, O.A.C., Brower, M., John, Z.; Leite, A. *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro*, Brasília, 2001, download: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=http%3A//www.cresesb.cepel.br/publicacoes/atlas_eolico_brasil/atlas-web.htm (Acesso em: 19/10/2008)

ANEEL, *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*, 2ª edição, 2003, disponível: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Atlas/apresentacao/apresentacao.htm> (Acesso em: 30/09/2008)

ANEEL, *Capacidade de geração de energia elétrica no Brasil*, disponível: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.asp> (Acesso em: 19/10/2008)

ATLEE, Jennifer, *Energy and Sustainable Development in the United States of America*, 2006, disponível: <http://www.helio-international.org/reports/pdfs/USA-EN.pdf> (Acesso em: 31/10/2008)

Brasil. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética, *Balço Energético Nacional 2007*, Rio de Janeiro: EPE, 2007.

Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia, *Projeto Parque Eólico Osório*, 2006. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/22107.html> (Acesso em: 08/12/2008)

BRUNDTLAND, G. (ed.), *Our common future: The World Commission on Environment and Development*, Oxford:Oxford University Press, 1987.

- CASTRO, F. A. *et al.*, **Energia Eólica** [seminário], Porto, 2007. Disponível em:
http://www.dem.isep.ipp.pt/data/events/seminarios/2007-01-09_Energia_Eolica_Prof_Fernando_Aristides_Castro.pdf (Acesso em: 31/10/2008)
- CASTRO, Rui M.G. de, **Introdução à energia fotovoltaica**, Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2002
- CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM Executive Board. **Approved consolidated baseline and monitoring methodology ACM0002: “Consolidated baseline methodology for grid-connected electricity generation from renewable sources”**, versão 8, Nov/2008. Disponível:
http://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/CDMWF_AM_YOYKBRCBIK7TSPSB7MQT75SPX75PE8 . (Acesso em: 8/12/2008)
- CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM Executive Board. **Annex 12 Methodological tool: “Tool to calculate the emission factor for an electricity system”**, versão 01.1, Jul/2008. Disponível: http://cdm.unfccc.int/Reference/tools/ls/meth_tool07_v01_1.pdf. (Acesso em: 29/12/2008)
- CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM, **Simplified project design document for small-scale project activities: “1 MW Donghae PV(photovoltaic) Power Plant”** Disponível: <http://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/4983IW31K7MEH8F90T1AYT2BD8PA4T>. (Acesso em: 2/1/2009)
- CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito), **Energia Eólica: Princípios e Tecnologias**, 2008. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/tutorial_eolica_2008.pdf (Acesso em: 02/11/2008)
- CUNHA, Kamyra Borges, **Mecanismo de desenvolvimento limpo: evolução do instrumento e suas perspectivas**, Dissertação de Mestrado, Campinas, SP, 2005
- DAMASSA, Thomas, **World Resources Institute Carbon Dioxide (CO2) Inventory Report For Calendar Years 2006 & 2007**, WRI, 2008. Disponível:
http://pdf.wri.org/wri_co2_inventory_report_2006-2007.pdf (Acesso em: 13/1/2009)

- MCT, *Documento de Concepção de Projeto (DCP-MDL): Parque Eólico Osório*, 2004 Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0019/19511.pdf (Acesso em: 08/12/2008)
- DNV, *Relatório de Validação do Parque Eólico Osório no Brasil*, 2006. Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0019/19513.pdf (Acesso em: 20/11/2008)
- EPIA, European Photovoltaic Industry Association, *Supporting Solar Photovoltaic Electricity: An Argument for Feed-in Tariffs*. Disponível em: http://www.epia.org/fileadmin/EPIA_docs/documents/An_Argument_for_Feed-in_Tariffs.pdf. (Acesso em: 03/01/2009)
- EWEA, The European Wind Energy Association & DG TREN, European Commission's Directorate General for Transport and Energy, *Wind Energy - The Facts*, 2003. download: http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/WETF/WETF.pdf (Acesso em: 31/10/2008)
- FEITOSA, Everaldo Alencar, *Energia Eólica no Brasil: Situação atual e Perspectivas*, s.d. Disponível em: <http://libdigi.unicamp.br/document/?view=1033> (Acesso em: 02/11/2008)
- FTHENAKIS, Vasilis M, Hyung Chul KIM & Wenming WANG, *Life Cycle inventory analysis in the production of metals used in photovoltaics*, NY: Energy Sciences and Technology Department, 2007, Disponível em: <http://www.pubs.bnl.gov/documents/35413.pdf> (Acesso em: 08/12/2008)
- Global Wind Energy Council (GWEC), Greenpeace, *Global Wind Energy Outlook 2008*. Disponível: http://www.gwec.net/fileadmin/documents/Publications/GWEO_2008_final.pdf. (Acesso em: 18/11/2008)
- GOETZBERGER, A., V.U. Hoffmann, *Photovoltaic Solar Energy Generation*, Berlin, Springer-Verlag, 2005
- HELIO INTERNATIONAL, *Indicator Selection and Rationale*, 2006, disponível: <http://www.helio-international.org/uploads/Indicators-EN.pdf> (Acesso em: 30/08/2008)

- IAEA, *Energy indicators for sustainable development: guidelines and methodologies*. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2005.
- IEA, *Grid-connected photovoltaic power systems: survey of inverter and related protection equipments*, 2002. Disponível em http://www.iea-pvps.org/products/download/rep5_05.pdf (Acesso em: 20/01/2009)
- LAMARCA Jr, Mariano Rua, Marie Anne Najm CHALITA, Amália Maria Goldberg GODOY, César Roberto Leite DA SILVA, Importância da inserção de projetos de conservação da floresta amazônica no Protocolo de Kyoto para redução do desmatamento, in *Informações Econômicas*, SP, v.38, n.5, maio 2008. P.37-50.
- LENARDIC, Denis, *Large-Scale Photovoltaic Power Plants: Cumulative and Annual Installed Power Output Capacity*, Relatório anual 2007, (revisão 2008). Disponível em: <http://www.pvresources.com/download/AnnualReport2007.pdf> (Acesso em: 08/12/2008)
- LUQUE, Antonio, Steven HEGEDUS (eds.), *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, West Sussex:Wiley, 2003
- MICHAELIS: *Moderno dicionário da língua portuguesa*. São Paulo, Cia. Melhoramentos, 1998.
- MINTS, Paula, Is Booming Growth Sustainable? The Global Photovoltaic Industry in *Renewable Energy World Magazine* v.11,n.4 July/August 2008. Disponível em: <http://www.renewableenergyworld.com/rea/magazine/story?id=53437> (Acesso em: 11/11/2008)
- MME (Ministério de Minas e Energia, Governo do Brasil), *Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica*, 2008, disponível: http://www.mme.gov.br/programs_display.do?chn=877, (Acesso em: 30/08/2008)
- MORGAN, Trevor, *Outlook for Global Investment in Electricity Infrastructure in OECD, Infrastructure to 2030 Mapping Policy for Electricity, Water and Transport*. OECD Publishing.

- MORRIS, S.C., J.LEE, P.D. MOSKOWITZ, G. GOLDSTEIN, *Photovoltaic energy impacts on US CO₂ Emissions*, NY: Brookhaven National Laboratory, 1973.
Disponível em: <http://www.osti.gov/energycitations/servlets/purl/106673-y343Pw/webviewable/106673.pdf> (Acesso em: 08/12/2008)
- NREL (National Renewable Energy Laboratory), *Solar Electric Power: The U.S. Photovoltaic Industry Roadmap*, 2003
- OECD, *Infrastructure to 2030 Telecom, Land, Transport, Water and Electricity*, OECD Publishing, 2006
- OLADE , CEPAL & GTZ. *Energía y Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe: Guía para la Formulación de Políticas Energéticas*. Quito, 2001.
- PORTO, Laura, *PROINFA: Diagnóstico e Perspectivas*, MME, 2008, disponível: www.mme.gov.br/download.do?attachmentId=15138&download (Acesso em: 30/08/2008)
- REIS, Lineu Belico dos, Eliane A. Amaral FADIGAS, Cláudio Elias CARVALHO. *Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável*. Barueri, SP: Manole, 2005.
- REIS, Lineu Belico dos, *Geração de energia elétrica: tecnologia, inserção ambiental, planejamento, operação e análise de viabilidade*, 3ed.. Barueri, SP: Manole, 2003.
- ROSA, Luiz Pinguelli , *Geração hidrelétrica, termelétrica e nuclear*, Estudos Avançados, 21 (59), 2007, pp.38-58
- SAN MARTIN, Robert L., *Environmental emissions from energy technology systems: the total fuel cycle*, Washington, DC: Departamento de Energia do Governo Norte-Americano, 1989. Disponível em: <http://www.osti.gov/energycitations/servlets/purl/860715-0m7u4t/860715.PDF> (Acesso em: 05/12/2008)
- TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno (coord.) *Alternativas energéticas sustentáveis no Brasil*, RJ: Relume Dumará: COPPE: CENERGIA, 2004

UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change, *National greenhouse gas inventory data for the period 1990–2006*, 2008, disponível em <http://unfccc.int/resource/docs/2008/sbi/eng/12.pdf> (Acesso em: 03/01/2009)

VAN BELLEN, Hans Michael. *Indicadores de Sustentabilidade: uma análise comparativa*. 2a. ed. RJ: Editora FGV, 2007.

VICTOR, David G. , Danny CULLENWARD, *Making Carbon Markets Work* (extended version), Scientific American, September 24, 2007. Disponível: <http://www.sciam.com/article.cfm?id=making-carbon-markets-wor&print=true> (Acesso em: 03/01/2009).

ÍNDICE GERAL REMISSIVO

<p style="text-align: center;">A</p> <p>Atlas do Potencial Eólico Brasileiro 30</p> <p style="text-align: center;">B</p> <p>Balanco Energético Nacional 23</p> <p style="text-align: center;">C</p> <p>Controle de Potência</p> <p style="padding-left: 20px;">controle ativo da turbulência ("Stall" ativo)</p> <p style="padding-left: 40px;">..... 29</p> <p style="padding-left: 20px;">controle passivo da turbulência ("Stall"</p> <p style="padding-left: 40px;">passivo) 29</p> <p style="padding-left: 20px;">por ângulo de passo ("Pitch")..... 28</p> <p>Cúpula da Terra (<i>Earth Summit</i>)..... 12</p> <p style="text-align: center;">E</p> <p>Eólica, Tecnologia</p> <p style="padding-left: 20px;">deslizamento 26</p> <p style="padding-left: 20px;">gerador assíncrono..... 26</p> <p style="padding-left: 20px;">gerador síncrono..... 26</p> <p style="text-align: center;">F</p> <p>Fator de Capacidade 30</p> <p>Fotovoltaica, Tecnologia</p> <p style="padding-left: 20px;">Células de Silício 33</p> <p style="padding-left: 20px;">Silício Monocristalino (mono-Si)..... 33</p>	<p style="padding-left: 20px;">Silício Policristalino (poli-Si)..... 33</p> <p style="padding-left: 20px;">Sistemas Off-Grid 32</p> <p style="text-align: center;">G</p> <p>Gases Efeito Estufa, GEE.....10, 12, 19</p> <p style="text-align: center;">I</p> <p>Indicador..... 17</p> <p>Intensidade Energética do PIB 18</p> <p style="text-align: center;">L</p> <p>Lei de Betz..... 26</p> <p style="text-align: center;">M</p> <p>MDL, Mecanismo de Desenvolvimento Limpo</p> <p style="padding-left: 20px;">Junta Executiva 14, 41</p> <p style="padding-left: 20px;">Metodologia ACM0002 20, 41</p> <p style="padding-left: 20px;">RCE, Redução Certificada de Emissões .. 13</p> <p style="text-align: center;">O</p> <p>O Nosso Futuro Comum..... 11</p> <p style="text-align: center;">P</p> <p>Parque Eólico 24</p> <p>Protocolo de Kyoto 12, 19</p> <p style="padding-left: 20px;">Países do Anexo 1 13, 14</p>
--	--