

# A SUSTENTABILIDADE ATRAVÉS DE EMPREENDIMENTOS ENERGÉTICOS DESCENTRALIZADOS

Antonio Carlos Demanboro\*  
Carlos Alberto Mariotoni\*\*  
Jim Silva Naturesa  
Joubert Rodrigues do Santos Junior

Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP  
Faculdade de Engenharia Civil Arq. Urb.-FEC/DRH - NIPE  
Área de Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais  
Grupo de Planejamento Energético e Sistemas Elétricos - GPESE

\* anto1810@fec.unicamp.br

\*\* cam@fec.unicamp.br

## Resumo:

Este artigo apresenta discussões a respeito de impactos ambientais advindos das atuais formas de geração centralizada de energia elétrica que estão relacionadas com o atual modelo econômico brasileiro, com característica de concentrador de renda, bem como com os problemas ambientais e sociais das grandes metrópoles. Desse modo, também são apresentadas discussões de oportunidades e formas de inserção na matriz energética brasileira, de empreendimentos energéticos sustentáveis descentralizados, tais como : pequenas centrais hidrelétricas (PCH's), energia eólica, energia solar fotovoltaica e hidrogênio.

## Abstract:

This paper presents discussions about the environmental impacts of the current ways of centralized electric energy generation related to the Brazilian economic model which has characteristic of income concentration, as well as to the environmental and social problems of the great metropolises. Therefore, discussions of the opportunity and the insert forms, in the Brazilian energy system, of the sustainable energy enterprises - small hydroelectric power plants, eolic energy, solar photovoltaic and hydrogen, are also presented.

## 1. Introdução

O acesso à energia é fator de status social. Energia é sinônimo de poder, e quem pode pagar por ela tem maior chance de usufruir de suas variadas formas de utilização. Em contrapartida, o não acesso marginaliza as classes menos favorecidas. Assim, as formas de geração deixam de ser um problema exclusivamente técnico, para se constituírem em questões que envolvem aspectos energéticos, econômicos e ambientais.

A produção e distribuição de energia no Brasil é feita predominantemente de forma centralizada, se encontrando nas mãos de grandes concessionárias e investidores que detém grande margem para influenciar a composição de preços, os quais dificilmente seguem padrões de concorrência de mercado, devido a sua estrutura monopolista. Essa concentração de poder e de capital se reflete nos projetos de investimentos futuros, dando continuidade aos empreendimentos de macro escala.

A utilização de biomassa para geração de energia em usinas de açúcar e álcool tem sido visto como um exemplo nacional bem sucedido, por ser renovável, apesar de ter como fator negativo os impactos sócio-econômico-ambientais associados à monocultura da cana-de-açúcar.

Em contrapartida, a exploração do óleo de palma em ambientes de clima tropical poderia abrir espaço para implantação de projetos que visam o desenvolvimento sustentável da floresta

amazônica, aliando preservação ao crescimento socio-econômico, pois possibilitaria a inclusão social de uma população de baixa renda através da coleta (extrativismo) ambientalmente correta dos frutos, e também da produção local do azeite de dendê, plenamente exequível em pequena escala (através de cooperativas locais).

Verifica-se, então, que a atuação passiva da população, não assumindo sua responsabilidade e não reivindicando seu lugar, faz com que o espaço fique aberto para os grandes empreendimentos, perpetuando a concentração de poder e promovendo a secularização do modelo vigente (DEMANBORO, 2001).

A matriz energética brasileira, diferentemente da matriz energética mundial que queima combustíveis fósseis para gerar eletricidade, é fortemente baseada na hidroeletricidade. Nesse sentido, o Brasil é visto muitas vezes como uma espécie de vanguarda mundial em termos de sustentabilidade, mas essa visão não considera que os grandes empreendimentos hidrelétricos causam enorme impacto ambiental e social. Por isso a necessidade de implantação de novas alternativas energéticas, na tentativa de inverter o modelo que em outros tempos incrementou o crescimento, mas não trouxe o tão esperado e necessário desenvolvimento sustentável, no qual é necessário contabilizar tanto os custos ambientais como os sociais.

O potencial hidroelétrico brasileiro é da ordem de 390 GW. Desse potencial, já foram instalados 25% que alagam 34.000 Km<sup>2</sup> de terras e desalojaram 200.000 famílias ribeirinhas. Também se submergem cidades com sua história e patrimônios históricos.

Para atingir a sustentabilidade, teremos que enfrentar uma mudança de valores, uma maneira diferente e nova de encarar a natureza (nosso modo de produção e consumo), pois somos totalmente dependentes dos sistemas naturais (DEMANBORO, 2001). Deve-se partir do princípio que é possível elevar o padrão de vida da humanidade, criando desenvolvimento e não necessariamente crescimento, sem destruir o meio ambiente (DALY, 1996). No terceiro milênio o desenvolvimento é sinônimo de qualidade de vida, onde devemos usar os recursos naturais, garantindo sua perpetuação para as gerações futuras.

Avanços conceituais, gerenciais, tecnológicos e institucionais devem ser utilizados para atualizar, complementar e aplicar os conceitos de sustentabilidade em escala planetária, uma vez que hoje muitos problemas ambientais já atingem uma escala mundial, como as mudanças climáticas, a diminuição da camada de ozônio, a concentração urbana, dentre outros.

Assim, é importante discutir a possibilidade de aplicar formas de geração de energia que sejam diversificadas e descentralizadas, como as pequenas centrais hidrelétricas, eólica, fotovoltaica e hidrogênio.

## **2. As Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCH's**

As PCH's tem o objetivo de descentralizar a produção de energia elétrica e beneficiar a população que dela se sustenta econômica, cultural e ambientalmente. O grande diferencial das PCH's em relação a outras formas de geração descentralizada de energia é que o Brasil tem vasta experiência no projeto, construção e operação de empreendimentos hidrelétricos de pequeno e grande portes.

Devido a sua pequena escala construtiva, a padronização e a escolha dos locais com características intrínsecas de uma PCH, conforme resolução ANEEL 394 de dezembro de 1998, as áreas onde elas são implantadas em geral conseguem se reequilibrar rapidamente dos impactos ambientais (MARIOTONI, 2001).

Considerando as usinas com potência entre 10 e 30 MW e com reservatório não superior a 3 Km<sup>2</sup>, 179 PCHs se encontravam em operação no ano 2000, gerando um total de 1.169,1 MW, 1,35% do potencial hidroelétrico do Brasil (ANEEL, 2005).

O potencial instalado brasileiro para PCHs é da ordem de 9.795,7 MW, com 942 aproveitamentos identificados, dando destaque ao estado de Minas Gerais que, isoladamente, é responsável por 36% deste potencial, com 349 aproveitamentos (BERMANN, 2003).

Uma das vantagens desse modelo de pequena usina hidrelétrica é o respeito à topografia, aproveitando as quedas naturais, sem a necessidade de alagamento de grandes áreas. Outro fator é o pequeno investimento em relação às centrais convencionais, com a diminuição de custos na distribuição devido a sua proximidade em relação ao mercado consumidor. Os pequenos lagos podem ser aproveitados para as atividades sócio-econômicas de turismo e pesca, além de em alguns casos ser possível amortecer as cheias.

Outra vantagem deste, e de outros tipos de geração descentralizada de energia, é a melhor adequação da curva de oferta à curva de demanda que esses empreendimentos

propiciam, não gerando os excedentes de capacidade instalada que ocorrem após a entrada em operação de uma grande usina, tornando o planejamento da expansão do setor elétrico mais confiável, econômico e seguro.

Como caso prático e bem sucedido podemos citar o DME de Poços de Caldas, que abastece uma cidade de 170.000 habitantes, com a produção total de 58 MW. A geração do DME atingiu 90% de seu mercado em 2004 e atingirá 100% a partir de 2005 (DME, 2005).

Assim, seus benefícios são mais que suficientes para que esses pequenos empreendimentos energéticos saiam do papel e sejam priorizados em relação aos empreendimentos de grande porte, que são capital-intensivos, aumentam a dependência de capitais externos e provocam enormes impactos ambientais.

Segundo TOLMASQUIM (2005), além das PCH's em operação, existe um potencial a ser explorado: a recapacitação e reativação de antigas centrais hidrelétricas. A maioria dessas usinas foi construída em uma época em que os dados hidrológicos eram incipientes. Estudos indicam que a modernização dos componentes do grupo gerador pode agregar algo em torno de 200 MW em um curto período de tempo. A recapacitação das centrais desativadas, aproximadamente 427 hidrelétricas, podem acrescentar cerca de 156 MW ao nosso sistema. A Tabela 1 apresenta o mercado de recapacitação e reativação de PCH's no Brasil.

Tabela 1 - Mercado de recapacitação e reativação de PCH's no Brasil

Situação	Quantidade	Potência (MW)
Recapacitação		200
Centrais desativadas	427	156
Centrais em situação desconhecida	1039	328
<b>Total</b>	<b>1466</b>	<b>684</b>

Fonte: TOLMASQUIM, 2005.

### 3. A energia eólica

O cenário mundial para o desenvolvimento da tecnologia e utilização dos sistemas movidos pela energia eólica é bastante favorável, uma vez que ela se constitui uma fonte de energia renovável e alternativa com grande potencial de geração de energia elétrica – cerca de  $2 \times 10^{13}$  KWh/ ano, considerando a energia aproveitada dos ventos nos 100 primeiros metros da atmosfera (HIRATA, 1985).

Tais características se desdobram em inúmeras vantagens, a começar pela independência dos sistemas eólicos que podem ser instalados em locais afastados e de difícil acesso às redes de fornecimento de energia, bastando haver ventos favoráveis – acima de 2,5 m/s –, promovendo a universalização do fornecimento de energia elétrica ou mecânica que seria fornecida por outras fontes convencionais, em sua maioria muito impactantes ao meio ambiente.

Há ainda a possibilidade de reduzir-se a emissão de 2,5 milhões de toneladas de gás carbônico/ano, ampliando as possibilidades de negócios de Certificação de Redução de Emissão de Carbono, nos termos do Protocolo de Kyoto (MME, 2005).

Os custos da tecnologia eólica vem se demonstrando os menores dentre as energias solares (HIRATA, 1985), quando comparadas com as fontes energéticas convencionais, tornando-se uma tecnologia competitiva com relação aos custos – a energia gerada pode ser obtida ao custo de US\$ 40/MWh, sendo os equipamentos adquiridos por cerca de US\$ 765/KW (CARVALHO, 2003).

Devido a todas estas vantagens, vários estudos surgiram no Brasil para o aproveitamento do potencial eólico, culminando com o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, realizados pela parceria entre Ministério de Minas e Energia (MME), ELETROBRÁS, CEPEL, Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB), Camargo Schubert – Engenharia Eólica e *TrueWind Solutions*. Isto porque, no Brasil, a tecnologia eólica se apresenta bastante interessante na solução para fornecimento de energia tanto para as comunidades afastadas dos centros produtores como o Norte, Nordeste e extremo Sul quanto para as regiões próximas aos grandes centros produtores e consumidores do Sul e Sudeste (MME, 2005).

O Atlas do Potencial Eólico Brasileiro apontou a existência de ventos com grande potencial para instalação de sistemas eólicos, na ordem de 144 TW/ano, para o Nordeste brasileiro.

Esta região, localizada na ponta da rede de distribuição de energia elétrica brasileira, é abastecida parcialmente por geradores a diesel. Estes, se substituídos pelos sistemas eólicos, poderão favorecer a redução da emissão de gases formadores do efeito estufa – GEE, podendo ser transformados em créditos, além de reduzirem os custos com a compra de combustíveis e gerarem empregos - em torno de 150 mil no Brasil -, segundo MME/PROINFA (2005).

Tais fatores, somados, apontam como um caminho de desenvolvimento sustentável para a população nordestina, onde se concentram os maiores problemas sócio-econômicos do país.

O mesmo estudo ainda aponta potenciais importantes - da ordem de 96,04 TW/ano - para as regiões Sul e Sudeste, nas quais se encontram os grandes centros consumidores, com maior necessidade de segurança e incremento no fornecimento de energia elétrica. Tais necessidades podem ser asseguradas com a implantação de sistemas híbridos em regime de complementariedade de fornecimento de energia, como no caso da energia eólica associada à fotovoltaica, uma vez que os ventos com maiores velocidades ocorrem à noite; ou associada às fontes convencionais (hidrelétricas) durante os períodos de estiagem, aproveitando-se da sazonalidade uma vez que o inverno é seco e com ventos.

Além disso, considerando que o crescimento do consumo de energia elétrica do país, da ordem de 5,1% ao ano, é devido em parte ao modelo de crescimento brasileiro baseado em exportações, cuja estrutura produtiva é intensiva em energia e capital (MME, 2005), esta tecnologia se torna bastante atrativa mesmo em uma estrutura de planejamento centralizada; uma vez que centrais eólicas de grande porte têm potencial para atender uma significativa parcela do Sistema Interligado Nacional (SIN).

Assim, verifica-se que o fornecimento de energia elétrica constitui-se uma fatia de mercado interessante para a tecnologia eólica. Porém, a utilização da energia eólica também pode ser dar para aquecimento de água, calefação, carregamento de baterias, congelamento de produtos perecíveis, secagem de grãos, bombeamento de água, irrigação, dessalinização, entre outras atividades (OCDE/IEA, 1987). Isto promove uma redução no consumo de energia elétrica e um desenvolvimento sócio-econômico-ambiental sustentável, descentralizado e diversificado, importante para o desenvolvimento nacional, em contraposição à utilização de energia fornecida por fontes não-renováveis ou pelas renováveis tradicionais que provocam grandes impactos ambientais.

#### **4. A Energia Solar Fotovoltaica**

A energia solar é a energia eletromagnética proveniente do sol, onde é produzida através de reações nucleares, e que, propagando-se através do espaço interplanetário, incide na superfície da Terra. O total de energia solar que incide na superfície do planeta em 1 ano é superior a 10.000 vezes o consumo anual de energia bruta da humanidade. Em menos de uma hora há energia suficiente para suprir toda a demanda de energia que a população mundial utiliza em um ano.

A radiação solar é abundante, com potencial praticamente infinito e pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica para fluidos, ambientes e para geração de potência elétrica. O aquecimento solar pode proporcionar uma economia de cerca de 35% para o usuário. Em 2003, o Brasil contava com 1.500.000 m<sup>2</sup> de área coletora de aquecedores solares. Esse mercado cresce na ordem de 100.000 m<sup>2</sup>/ano (CRESESB, 2005).

A energia solar abastece de forma contínua e segura, com a vantagem de ter origem em uma fonte renovável, o sol. Os painéis fotovoltaicos (PV's) não possuem peças móveis, passíveis de desgaste mecânico, não produzem poluição, barulho ou odores. É de fácil transporte e instalação, e sua manutenção é mínima. Adapta-se a múltiplos usos, podendo ser expandido conforme a necessidade.

A ligação de painéis fotovoltaicos em áreas urbanas com interligação à rede de distribuição pode viabilizar a instalação dos módulos solares, a partir da comercialização do excedente gerado durante o dia.

*O PV's são ideais para serem instalados em locais de difícil acesso para as redes de energia convencional, ou áreas de desinteresse econômico, como pequenos vilarejos e imóveis isolados.*

*Além da iluminação residencial, que é a aplicação mais difundida, possui diversos outros usos, como refrigeração, iluminação pública, telefones de emergência, bombeamento de água, sistemas para aparelhos eletro-eletrônicos e eletrodomésticos, cerca eletrificada, sinalização marítima, de torres e estradas, refrigeração móvel, ferrovias, etc.*

Os sistemas são bastante duráveis e precisam de pouca manutenção. Os módulos fotovoltaicos normalmente tem garantia de 20 anos e vida útil estimada em 30 anos. Os dispositivos eletrônicos (inversor, controlador de carga) têm vida útil superior a 10 anos. As baterias são consideradas o ponto fraco do sistema, podendo durar de 4 a 5 anos (baterias de excelente qualidade poderão durar 7 anos) (CRESESB, 2005).

As necessidades de manutenção são mínimas; os módulos fotovoltaicos são normalmente mantidos limpos pela ocorrência natural de chuva, mas em locais de muito pouca pluviosidade podem necessitar de limpeza periódica. As baterias, caso não seja seladas, necessitam de reposição periódica de água destilada - 6 meses em média .

Assim, a implantação do sistema de placas solares fotovoltaicas possibilita o desenvolvimento sustentável. Apesar de ter um investimento inicial ainda elevado, seus custos vêm caindo rapidamente, e sua independência em relação os sistemas convencionais de geração de energia faz com que o investidor em micro escala seja detentor de uma fonte energética com tarifa zero.

## 5. O Hidrogênio

A maioria do hidrogênio produzido atualmente no mundo está associada ao petróleo (78%), sendo apenas 4% de origem renovável a partir de hidroeletricidade. O consumo mundial de hidrogênio no ano 2003 foi de  $1038,5 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ . Desse total, 48% foi produzido pelo processo de reforma do gás natural, e apenas 4% devido à eletrólise. Na Tabela 2 pode-se observar a demanda mundial de hidrogênio (SILVA et al, 2003).

Tabela 2 - Demanda mundial de hidrogênio

Setor	Consumo Mundial de Hidrogênio ( $10^9 \text{ m}^3 / \text{ano}$ )				
	1995	1996	1997	1998	2003
Grandes Consumidores	559,7	534,5	551,1	553,2	687,1
Mercado (exceto célula a combustível)	222,4	244,3	251,1	288,8	338,6
Célula a Combustível	5,9	7,4	8,1	10,3	12,8
Total	788,0	786,2	810,3	851,5	1038,5

Fonte: SILVA et al (2003) com adaptações.

O Laboratório de Hidrogênio da UNICAMP estimou a composição percentual do mercado brasileiro de hidrogênio para o ano de 1984: amônia para fertilizantes (75,6%), refino de petróleo (8,5%), produção de metanol (3,5%), subproduto da indústria de soda cáustica (8,6%). Observe-se que o hidrogênio é utilizado principalmente no setor industrial, sendo que na indústria química é usado na síntese da amônia, metanol, ciclohexano, ciclo-hexanol, ácido clorídrico etc.

Segundo dados do Programa Brasileiro de Células a Combustível, há aproximadamente 0,8 MW provenientes de projetos de demonstração de células a combustível de ácido fosfórico no Brasil. Esse programa prevê que até o ano de 2012 haverá 50 MW instalados no país, o que corresponde a 0,4% da potência relacionada ao Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA (SILVA et al, 2003).

Segundo ADAMSON (2004), a produção de hidrogênio pode ser dividida em três grupos: foto-biológico, foto-eletromecânico e termo-químico. Entre as técnicas de produção, destacam-se:

- Gás natural - o processo de reforma do gás natural é o mais utilizado em plantas comerciais para a produção de hidrogênio. Seu custo de produção depende basicamente do custo da planta. Normalmente, o custo do hidrogênio varia de 52 a 68% do custo do gás natural.

- Eletrólise - o hidrogênio também pode ser produzido através da eletrólise da água. A energia elétrica necessária para o processo pode ser de um sistema não-renovável (usina termoneucleares) ou renovável (usinas eólicas, hidrelétricas ou fotovoltaicas). A eficiência no processo de conversão depende da eficiência do processo de produção da energia elétrica, podendo variar de 11,5% para sistemas fotovoltaicos a 42% em termelétricas. O preço dos

eletrolisadores, necessários na eletrólise da água, devem diminuir de 5050 para 4100 Euros/kWe para unidades de 100 kWe; e de 2250 para 1900 Euros/kWe para unidades de 1MWe.

De acordo com ADAMSON (2004), os benefícios de uma economia baseada em hidrogênio são: diversificação da produção de energia e segurança no fornecimento, diminuição da poluição urbana e diminuição dos gases de efeito estufa. Quando o hidrogênio é queimado, como combustível convencional, provoca uma menor emissão de NO<sub>x</sub>, quando comparado as emissões de combustíveis tradicionais (gasolina e o óleo diesel). Quando é utilizado em células a combustível de baixa temperatura, para a geração de eletricidade, a emissão de poluentes é quase nula. Devem ser consideradas também as emissões provocadas pela geração, processamento e armazenagem do hidrogênio. Se forem utilizadas fontes primárias para a produção de energia elétrica para a eletrólise, como a energia solar e a energia eólica, essas emissões são bastante reduzidas. Porém, se a fonte for de origem hidroelétrica, devem ser consideradas as emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> devido à decomposição anaeróbica da biomassa submersa nos reservatórios, dentre outros impactos ambientais (SILVA et al, 2003).

As células a combustível são dispositivos eletroquímicos que produzem energia elétrica utilizando como combustível o hidrogênio. As principais tecnologias de células a combustível são: células alcalinas, células a ácido fosfórico, células a polímero sólido, células a carbonato fundido e células a óxido sólido. As tecnologias diferem entre si pelo eletrólito utilizado na célula, por suas reações eletroquímicas e pelas temperaturas envolvidas. A tabela 3 apresenta as principais aplicações de cada tipo de célula (REIS, 2003).

Tabela 3 - Tipos, características e aplicações das células a combustível.

<b>Tipo</b>	<b>Características</b>	<b>Aplicações</b>
<b>Células Alcalinas (AFC)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não requerem materiais de alto custo na sua construção;</li> <li>- Possuem vida longa (15 mil horas);</li> <li>- Alto custo.</li> </ul>	-Aplicações remotas estratégicas (missões espaciais, submarinas e militares);
<b>Células a Ácido Fosfórico (PAFC)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requerem o emprego de catalisadores à base de metais nobres (platina);</li> <li>- Excelente estabilidade térmica, química e eletroquímica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Centrais de cogeração com potência de 50 a 1000 kW;</li> <li>- Podem ser utilizadas nas dependências do consumidor (<i>on-site power</i>).</li> </ul>
<b>Células a Polímero Sólido (SPFC)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requerem o emprego de catalisadores à base de metais nobres (platina).</li> </ul>	- São utilizadas na indústria automotiva em substituição aos motores de combustão interna.
<b>Células a Carbonato Fundido (MCFC)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevada eficiência energética (combustível / energia elétrica): 55%;</li> <li>- Quando o calor residual é utilizado a eficiência pode chegar a 85%.</li> </ul>	- Centrais de cogeração de médio e grande porte.
<b>Células a Óxido Sólido (SOFC)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevadas temperaturas: 1000° C;</li> <li>- Dispensam a utilização de catalisadores à base de materiais nobres e de alto custo;</li> <li>- Possuem vida longa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O calor produzido pode ser utilizado em aplicações de cogeração ou acionar uma turbina a vapor.</li> <li>- Pode ser usada em um ciclo combinado (eficiência da ordem de 80%).</li> </ul>

Elaboração própria com os dados de Reis, (2003).

## 5.1 Proposta de utilização sustentável do hidrogênio

O excedente de energia em uma hidrelétrica é a diferença entre a geração verificada e a geração assegurada. A geração assegurada é a energia que a usina fornece aos seus clientes e distribuidoras de energia elétrica. A energia excedente, quer seja proveniente de fontes de geração centralizada ou de formas descentralizadas de geração de energia, pode contribuir para aumentar a eficiência energética do país. Segundo FERREIRA (2003), no ano de 1999 a usina

hidrelétrica de Itaipu verteu 4.806.000 MWh/ano, o que representou 11,6% da sua capacidade de produção. A energia excedente de Itaipu pode ser convertida em hidrogênio através de eletrólise, sendo em seguida armazenada. De maneira semelhante, pode-se projetar empreendimentos hidrelétricos de pequeno porte (PCH's) e associá-los a produção de hidrogênio de forma modular, ocasionando menores impactos ambientais e disponibilizando o hidrogênio para diversas aplicações energéticas, como em células combustíveis para os mais diversos usos.

Essa energia pode, ainda, ser novamente convertida em energia elétrica pelo uso das células a combustível e transmitida utilizando dispositivos *FACTS (Flexible AC Transmission Systems)* para as áreas de consumo. Os dispositivos *FACTS* têm o objetivo de flexibilizar os sistemas de transmissão de energia elétrica. Esses dispositivos, normalmente compensadores de reativos em série ou em derivação com as linhas, são controlados por tiristores - semicondutores de alta potência (REIS, 2003) (Naturesa, 2001).

## 6. Conclusões e Considerações Finais

Sugere-se que ao custo da energia gerada em empreendimentos de grande porte sejam adicionados os seus **reais** custos ambientais, para que as grandes usinas possam ser adequadamente comparadas aos empreendimentos sustentáveis descentralizados, que ainda tem a vantagem de propiciarem menores custos na transmissão da energia gerada.

Com relação a energia eólica, verifica-se que os custos vem se tornando atrativos e que os impactos ambientais não inviabilizam o processo, sendo mais acentuados nos grandes parques eólicos do que nos sistemas descentralizados, concentrando-se na região em que se encontram e em grande parte são reduzidos pela evolução da tecnologia. Com isso, verifica-se que os sistemas eólicos são uma alternativa eficaz e viável e que devem ser estrategicamente instalados no país, principalmente se associados aos sistemas fotovoltaicos, cuja tecnologia vem sendo aprimorada e seus custos diminuídos, sendo a tecnologia dos filmes finos a mais promissora.

Já em relação a produção de grandes quantidades de hidrogênio são necessários altos investimentos na montagem da planta eletrolítica, na aquisição de eletrolisadores, sistemas de controle, refrigeração e estocagem. Os dispositivos *FACTS* também possuem um custo elevado e o país não detém o *know-how* da tecnologia. Outro problema não considerado refere-se à armazenagem de grandes quantidades de hidrogênio. Uma análise detalhada poderá indicar as melhores soluções para se evitar desflorestamentos e desapropriações com as instalações dos reservatórios, como a associação da produção de hidrogênio e as PCH's. Mesmo assim, é uma alternativa promissora e que merece ser desenvolvida, por permitir aumentar a capacidade de transmissão das linhas já construídas, bem como disponibilizar hidrogênio para células combustíveis, contribuindo para a diminuição de impactos ambientais que seriam ocasionados por novos empreendimentos centralizados de energia.

Além das barreiras tecnológicas e econômico-sociais discutidas, que restringem a disseminação dos empreendimentos energéticos sustentáveis, é necessário desenvolver pesquisas aplicadas para que haja aceitação destes empreendimentos pelos diversos setores da sociedade, que são os usuários finais da energia produzida.

**Palavras-chaves:** Fontes renováveis de energia, hidrogênio, energia eólica, energia solar, pequenas centrais hidrelétricas.

## Referências Bibliográficas

ADAMSON, K. *Hydrogen from renewable resources - the hundred year commitment*. Energy Policy 32 (2004) 1231-1242

BERMANN, C. *Energia no Brasil: Para Quê? Para Quem?, Crise e Alternativas para um desenvolvimento sustentável*. 2ª Edição, Editora Livraria da Física Fase Federação de Órgãos para Assistência Social e Educacional, 2003.

CARVALHO, P. *Geração Eólica*. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2003.

- DALY, H. *Beyond Growth - The Economics of Sustainable Development*. Boston: Beacon Press, 1996.
- DEMANBORO. A.C. *Uma Metodologia Alternativa Para Avaliação Ambiental a Partir dos Conceitos de Totalidade e Ordem Implicada*. Tese de Doutorado. UNICAMP, 2001.
- FERREIRA, P.F.; Araújo, P. D.; Lopes, D.G. e Silva, E. *Produção de Hidrogênio Utilizando Energia Vertida Turbinável de Itaipu: Cálculo de Custos e Comparação com o Gás Natural na Cidade de São Paulo*. 2003.
- FOLADORI G. *Limites do desenvolvimento sustentável*. Campinas: Ed. UNICAMP, 2001.
- HIRATA, Miguel Hiros. Energia eólica: Conversão e aproveitamento, in LA ROVERE, E.L. et alli (coord.), *Economia e tecnologia da energia*. Editora Marco Zero – Finep, 1985 International Energy Agency. *Renewable sources of energy*. OCDE/IEA, 1987.
- JANNUZZI, G.M. e SWISHER, J.N.P. *Planejamento Integrado de Recursos Energéticos, Meio Ambiente Conservação de Energia e Fontes Renováveis*. Editora Autores Associados, 1997.
- MARIOTONI, C.A. e BADANHAN, L.F. *Técnica de Gestão Ambiental Aplicada ao Planejamento de Hidrelétricas*. Editora EGB Ltda., 2001
- McGUIGAN, Dermot. *Small scale wind power*. Grã Bretanha: A. Wheaton & Co. Ltda., Exeter, 1978.
- NATURESA, J.S. *A Influência de Compensadores Estáticos de Reativos na Estabilidade de Tensão de Sistemas de Energia Elétrica*. Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação - Unicamp. 2001.
- PARK, J. *The wind Power Book*. California: Cheshire Books, 1981.
- POLIS: *Estudos, Formação e Assessoria em Políticas Sociais*. São Paulo, SP: Instituto de Estudos, Formação e Assessoria em Políticas Sociais, Publicação Trimestral.
- REIS, L.B. e SILVEIRA S. (organização). *Energia Elétrica para o desenvolvimento sustentável*. EDUSP. 2003.
- RUANO M. *Ecurbanismo: entornos humanos sostenibles: 60 proyectos*. Barcelona: G. Gili, 2ª ed., 2000. 192p.
- SBPE- Sociedade Brasileira de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Clube de Engenharia Sobre Universalização do Acesso à Energia, volume II, temário *Uso Eficiente da energia, Desenvolvimento Regional e produção de Energia*. ANAIS, 2004.
- SILVA et al. "Energia a partir do uso do hidrogênio" in TOLMASQUIM, M. T. (org.), *Fontes Renováveis de Energia no Brasil*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, COPPE, UFRJ, 2003.
- TOLMASQUIM, M. T. (coord). *Geração de Energia Elétrica no Brasil*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, COPPE, UFRJ, CENERGIA, 2005.
- \_\_\_\_\_ (coord). *Alternativas energéticas sustentáveis no Brasil*. Rio de janeiro: Relume Dumurá, COPPE, CENERGIA, 2004.
- VIOLA, E. e FERREIRA, C.L. (Orgs). *Incertezas de Sustentabilidade na Globalização*, 2ª ed., Editora da Unicamp 1996.



## Referências Infográficas

AMARANTE, Odilon A. Camargo do et al. Centro de Pesquisas de Energia Elétrica/CEPEL. *Atlas do potencial eólico brasileiro*. MME /CRESEB /CEPEL /Eletrobrás /Camargo Schubert e TrueWind Solutions BRASÍLIA, 2001. In site [www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br).

ANEEL. In Internet Site: [www.aneel.com.br](http://www.aneel.com.br)

BEN - Balanço Energético Nacional. Ministério de Minas e Energia. In site: [http://www.mme.gov.br/site/menu/select\\_main\\_menu\\_item.do?channelId=1432](http://www.mme.gov.br/site/menu/select_main_menu_item.do?channelId=1432)

CRESESB. In Internet Site: [www.cresesb.cepel.br](http://www.cresesb.cepel.br)

DME – Departamento Municipal de Eletricidade de Poços de Caldas. In Internet Site [www.dmepc.com.br](http://www.dmepc.com.br)

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. In Internet Site [www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br)

PORTAL VITRUVIUS. In Internet Site: [www.vitruvius.com.br](http://www.vitruvius.com.br)

PORTAL ARCOWEB. In Internet Site: [www.arcoweb.com.br](http://www.arcoweb.com.br)