

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

RENATO JOVINO RODRIGUES DE MELO

Grandes Hidrelétricas ou Geração Distribuída?
Aspectos Técnicos, Econômicos, Ambientais e Sócio-políticos.

São Paulo
2015

RENATO JOVINO RODRIGUES DE MELO

Grandes Hidrelétricas ou Geração Distribuída?

Aspectos Técnicos, Econômicos, Ambientais e Sócio-políticos.

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Orientador:

Prof. Dr. Roberto Castro

São Paulo

2015

Catálogo-na-publicação

Melo, Renato Jovino Rodrigues de

Grandes hidrelétricas ou geração distribuída? - aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sócio-políticos / R.J.R. de Melo. - São Paulo, 2015

104 p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Hidrelétricas 2.Geração distribuída I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA DA POLI

RENATO JOVINO RODRIGUES DE MELO

Grandes Hidrelétricas ou Geração Distribuída?
Aspectos Técnicos, Econômicos, Ambientais e Sócio-políticos.

Monografia defendida e aprovada em 04/12/2014 pela Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Roberto Castro
Orientador

Prof. Dra. Eliane Aparecida Faria Amaral Fadigas

Prof.Dr. Jose Roberto Simões Moreira

Dedico este trabalho a Jesus Cristo, ao meu pai Jackson, à minha mãe Regina e minha companheira Tatiana.

EPÍGRAFE

“Dê-me, Senhor, agudeza para entender, capacidade para reter, método e faculdade para aprender, sutileza para interpretar, graça e abundância para falar. Dê-me, Senhor, acerto ao começar, direção ao progredir e perfeição ao concluir”.

Santo Tomás de Aquino

RESUMO

Esta dissertação baseia-se na realização de uma pesquisa bibliográfica sobre geração de energia elétrica através de grandes hidrelétricas e através da geração distribuída. Será apresentado uma visão geral de um projeto hidrelétrico, principais sistemas e equipamentos. Para a geração distribuída, serão apresentadas as principais tecnologias de geração distribuída através de fontes fósseis e através de fontes renováveis. A geração hidrelétrica e geração distribuída no Brasil serão contextualizadas no sistema elétrico brasileiro.

Para finalizar o desenvolvimento do trabalho, serão expostos os principais aspectos tecnológicos, econômicos, ambientais, político-sociais e regulatórios para grandes hidrelétricas e também para a geração distribuída. Será perseguida a resposta se a geração distribuída é uma alternativa viável na expansão da produção de energia elétrica brasileira.

Palavras-chave: Usinas Hidrelétricas. Geração Distribuída. Geração de Energia Elétrica.

ABSTRACT

This dissertation is based on a bibliographic research about generating electricity through large hydro and through distributed generation. It will be described a hydropower project overview, main systems and equipment. For distributed generation, it will be described main distributed generation technologies using fossils sources and renewable sources. The hydroelectric generation and distributed generation in Brazil will be contextualized in the Brazilian electrical system.

Finally, it will be exposed in this dissertation the main aspects technological, economic, environmental, socio-political and regulatory for large hydro and for distributed generation. It will be persecuted the answer if the distributed generation is a viable alternative in expanding production of Brazilian electricity.

Key words: Hydro Power Plant. Distributed Generation. Electrical Energy Generation.

ILUSTRAÇÕES

ILUSTRAÇÃO 1 - HIDRELÉTRICA DE ITAIPÚ.....	18
ILUSTRAÇÃO 2 - IMAGEM ILUSTRATIVA DE UM SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-SOLAR	27
ILUSTRAÇÃO 3 - COMPONENTES DE UM AEROGERADOR	30
ILUSTRAÇÃO 4 – GRÁFICO DA CAPACIDADE INSTALADA POR TIPO DE FONTE EM 31/12/2013 (%).....	39
ILUSTRAÇÃO 5 – MODELO DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA CONVENCIONAL (CENTRALIZADA)	50
ILUSTRAÇÃO 6 – GERAÇÃO DISTRIBUÍDA, SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO E OPERAÇÃO	51
ILUSTRAÇÃO 7 – GRÁFICO DA EVOLUÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA NO SIN	53
ILUSTRAÇÃO 8 – GRÁFICO DA EVOLUÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA DE HIDRELÉTRICAS NO BRASIL	54
ILUSTRAÇÃO 9 - LINHA DE TRANSMISSÃO.....	57
ILUSTRAÇÃO 10 - FOTO DA FABRICAÇÃO DE UM ROTOR KAPLAN	58
ILUSTRAÇÃO 11 – GRÁFICO DE HARMÔNICOS CAUSADOS POR INVERSORES	62
ILUSTRAÇÃO 12 - GRÁFICO DA CORRENTE NO NEUTRO CAUSADA PELOS HARMÔNICOS	63
ILUSTRAÇÃO 13– CONCEPÇÃO DE SMART GRID.....	65
ILUSTRAÇÃO 14 – GRÁFICO DO ACRÉSCIMO DE CAPACIDADE INSTALADA EÓLICA, PCH E BIOMASSA ..	69
ILUSTRAÇÃO 15 - ECLUSA DE TUCURUÍ EM CONSTRUÇÃO	85

TABELAS

TABELA 4.1 - PREVISÃO PARA CAPACIDADE INSTALADA	39
TABELA 5.1 – EMISSÃO DE CO ₂ NOS ESTÁGIOS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA [TON/GWH].....	78
TABELA 5.2 - USO DA TERRA PARA DIFERENTES TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE.....	81
TABELA 6.1 – UHE X GD: RESUMO DOS ASPECTOS.....	97

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. JUSTIFICATIVA	14
1.2. O PROBLEMA	15
1.3. OBJETIVO	16
1.4. METODOLOGIA UTILIZADA	16
2. GRANDES CENTRAIS HIDRELÉTRICAS	17
2.1. INTRODUÇÃO	17
2.2. VISÃO GERAL DE UM EMPREENDIMENTO HIDRELÉTRICO	17
2.2.1. Tomada d' água	18
2.2.2. Vertedouro	19
2.2.3. Casa de Força	19
2.2.4. Subestação	20
3. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	21
3.1. INTRODUÇÃO	21
3.2. DEFINIÇÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	21
3.3. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA COM COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS	22
3.3.1. Motores Alternativos de Combustão Interna	22
3.3.2. Microturbina a Gás	24
3.3.3. Motores Stirling	24
3.3.4. Células a Combustível	25
3.3.5. Sistemas Híbridos	27
3.3.6. Sistemas Frigoríficos por Absorção	28
3.4. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA COM FONTES RENOVÁVEIS	28
3.4.1. Energia Eólica	29
3.4.2. Energia Solar Fotovoltaica	32
3.4.3. Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH)	34
3.4.4. Biomassa / Biogás	35
4. SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO	38
4.1. INTRODUÇÃO	38
4.2. SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL (SIN)	39

4.3. DISTRIBUIDORAS DE ENERGIA ELÉTRICA.....	40
4.4. SISTEMAS ISOLADOS.....	41
4.5. GERAÇÃO HIDRELÉTRICA NO BRASIL	42
4.6. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL	43
4.7. REGULAÇÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL	44
4.7.1. Introdução	44
4.7.2. Decreto nº 5163 de 30 de Julho de 2004	46
4.7.3. Resolução Normativa nº 482, de 17 de Abril de 2012.....	47
5. ASPECTOS DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	49
5.1. INTRODUÇÃO.....	49
5.2. ASPECTOS TECNOLÓGICOS	50
5.2.1. Modelos de Geração de Energia	50
5.2.2. Suprimento da Demanda e Armazenamento de Energia Elétrica	53
5.2.3. Linhas de Transmissão e Interconexão da GD	56
5.2.4. Estado da Arte	58
5.2.5. Sistemas Híbridos	59
5.2.6. Conexão da GD com a Rede de Distribuição	60
5.2.7. <i>Smart Grid</i> e a Mudança de Paradigma	64
5.2.8. Cogeração	66
5.2.9. Balanço do Planejamento Brasileiro.....	67
5.3. ASPECTOS ECONÔMICOS	70
5.3.1. Investimentos	70
5.3.2. Modularidade.....	71
5.3.3. Custos com Combustível	71
5.3.4. Tarifas de Energia	72
5.3.5. Barreiras Econômicas.....	72
5.4. ASPECTOS AMBIENTAIS	75
5.4.1. Grandes Hidrelétricas	75
5.4.2. Turbinas a Gás e Motores de Combustão Interna	76
5.4.3. Energia Eólica	77
5.4.4. Energia Solar.....	82
5.4.5. GD com Saneamento Ambiental em Reservatórios	83
5.5. ASPECTOS SÓCIO-POLÍTICOS	84

5.5.1.	Grandes Hidrelétricas	84
5.5.2.	Geração Distribuída	86
5.5.3.	Entraves Burocráticos.....	87
5.5.4.	Barreiras de Ordem Institucional.....	87
5.6.	ASPECTOS REGULATÓRIOS	88
5.6.1.	Nichos e Oportunidades para Geração Distribuída	88
5.6.2.	Vantagens do Decreto nº 5163	89
5.6.3.	O Caso da Legislação Americana para GD (lei PURPA).....	90
5.6.4.	Leis de Incentivo	91
5.6.5.	Barreiras Regulatórias para GD	92
5.6.6.	A Lei 12.783 (MP 579).....	94
5.6.7.	A Resolução Normativa nº482	96
6.	CONCLUSÃO	97
6.1.1.	Grandes Hidrelétricas ou Geração Distribuída?	97
6.1.2.	Considerações Finais	102
7.	BIBLIOGRAFIA	104

1. INTRODUÇÃO

1.1. JUSTIFICATIVA

No contexto atual em que todos os países buscam caminhos para diminuir as emissões de gases de efeito estufa, ampliar a oferta de energia elétrica para atender a uma demanda crescente e, simultaneamente, mitigar os impactos negativos da produção de energia elétrica são alguns dos principais desafios para o Brasil, cuja principal fonte geradora se dá através de grandes hidrelétricas e de um complexo sistema de transmissão e distribuição de energia elétrica.

De acordo com ONS (2014), o verão de 2013 caracterizou-se por uma condição de atraso no início do período chuvoso. As afluências ao longo do ano situaram-se em torno da média nos subsistemas Sudeste / Centro-Oeste e Norte, acima da média no Sul e significativamente abaixo da média histórica no Nordeste. As condições hidrológicas vigentes não permitiram que os subsistemas Sudeste/Centro-Oeste (62,5%), Sul (60,3%) e Nordeste (48,8%) recuperassem suas capacidades máximas de armazenamento no final de abril e em novembro, no término do período seco, foram alcançados os seguintes níveis de armazenamento: 41,6% no Sudeste/Centro-Oeste, 22,2% no Nordeste e 33,3% no Norte. A região Sul fechou o ano com 57,7% de armazenamento. Considerando este cenário, o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico – (CMSE) manteve o despacho pleno do parque térmico (nuclear, carvão, gás e combustível líquido) até o mês de abril e, a partir de maio, promoveu redução parcial do despacho das térmicas a combustível líquido de maior custo, operação que já ocorrera no final de 2012.

Foi observado um quadro recessivo das afluências nos subsistemas Norte e também no Nordeste, que registraram o terceiro pior período seco de todo o histórico disponível (1931-2012). Este quadro de baixo nível dos reservatórios e grande despacho térmico manteve-se para 2014 e a partir deste ano os impactos de uma geração mais cara serão sentidos na economia, principalmente para o consumidor final de energia elétrica.

As grandes usinas hidrelétricas são as principais geradoras de eletricidade no Brasil. A maior parte de nossa matriz está concentrada nessa fonte e os planos de expansão da geração de energia elétrica também privilegiam a construção de grandes usinas. Paralelo a este cenário temos a geração distribuída de energia, que se apresenta como uma alternativa interessante à forma tradicional de produção de energia, onde as tecnologias recentes tem permitido a construção de plantas geradoras de energia elétrica de dimensões reduzidas, eficientes, confiáveis e cada vez mais viáveis do ponto de vista técnico, econômico e ambiental.

1.2. O PROBLEMA

Apesar de ser conhecida como uma fonte de energia limpa com baixos níveis de emissão de gases de efeito estufa, as usinas hidrelétricas de grande porte, como as que estão sendo construídas na região Norte, causam grandes impactos ambientais e político-sociais.

Atualmente, estes grandes empreendimentos estão no foco da mídia e de toda a sociedade e levantam uma série de questões polêmicas, paradigmas, mitos e dúvidas sobre os principais aspectos importantes. Paralelo a isso, temos o modelo de geração distribuída que surge como uma alternativa para o Brasil, principalmente utilizando fontes renováveis.

Investimentos na área da geração distribuída, gradativamente estão em crescimento devido ao rápido desenvolvimento de tecnologias e consequentemente possibilitando um barateamento dos componentes. Nesta linha, permitindo o consumidor de se proteger de variações de preços ditadas pelo mercado de energia que tende a ser muito volátil, uma vez que pode fazer o uso isolado ou combinado de geração distribuída e rede elétrica.

Atualmente no Brasil, as regulamentações ambientais estão cada vez mais rígidas, motivando que investidores busquem opções por fontes de energia mais limpas e com melhor relação entre custo e eficiência. A construção de novas centrais elétricas de grande porte vem apresentando dificuldades oriundas a estes aspectos ambientais.

A Geração Distribuída, devido à sua concepção de se localizar mais próxima dos centros de carga poderia atender o aumento da demanda com uma necessidade menor de investimentos destinados à expansão da infraestrutura de transmissão.

Não obstante haver uma matriz de geração de energia elétrica predominantemente baseada em centrais hidrelétricas, o consumidor brasileiro vem enfrentando um aumento significativo no custo da energia elétrica em virtude do despacho de energia realizado através de termelétricas, situação que vem ocorrendo a partir do ano de 2012, em virtude da ocorrência de chuvas extremamente abaixo do esperado.

Será que é possível pensar na expansão da produção de energia elétrica no Brasil sem se limitar à construção de grandes centrais hidrelétricas, utilizando a geração distribuída como uma alternativa viável de geração mais eficiente e confiável?

1.3. OBJETIVO

O objetivo do trabalho é avaliar os principais aspectos tecnológicos, econômicos, ambientais e sócio-políticos para os dois modelos de geração de energia elétrica: centralizada através de hidrelétrica e distribuída. A avaliação será complementada sob o ponto de vista do ambiente regulatório brasileiro.

No desenvolvimento do trabalho busca-se uma resposta se a geração distribuída pode ser uma alternativa viável na expansão da produção de energia elétrica no Brasil de modo a renunciar dos futuros projetos de construção de grandes hidrelétricas, principalmente os da região Norte brasileira.

1.4. METODOLOGIA UTILIZADA

Para a elaboração deste trabalho, realizou-se uma revisão bibliográfica, onde foram selecionados livros e artigos relacionados ao tema, e a partir da sua leitura, buscou-se a exposição, a análise e a discussão das diversas posições existentes.

O estudo conta com as reflexões críticas do orientando, expostas de forma fundamentada, para que se obtenham conclusões úteis para a continuidade dos estudos sobre a geração de energia elétrica centralizada ou distribuída.

2. GRANDES CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

2.1. INTRODUÇÃO

O recurso natural mais abundante na Terra e através dos efeitos da energia solar e da força da gravidade, onde o líquido transforma-se em vapor que se condensa em nuvens, que retornam à superfície terrestre sob a forma de chuva, a água é uma fonte de geração de energia renovável.

Para produzir energia elétrica através do aproveitamento da água é necessário integrar a vazão do rio, a quantidade de água disponível em determinado período de tempo e os desníveis do relevo ou a energia potencial, sejam eles naturais, como as quedas d'água, ou criados artificialmente.

É através da potência instalada que é possível determinar se a usina é de grande ou médio porte ou uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH). A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) adota três classificações: Centrais Geradoras Hidrelétricas (com até 1 MW de potência instalada), Pequenas Centrais Hidrelétricas (entre 1,1 MW e 30 MW de potência instalada) e Usina Hidrelétrica de Energia (UHE, com mais de 30 MW).

Determinado também através do porte da usina as dimensões da rede de transmissão que será necessária para levar a energia até o centro de consumo. Em diversos casos, quanto maior a usina, mais distante ela tende a estar dos grandes centros. Assim, exige a construção de grandes linhas de transmissão em tensões alta e extra-alta (de 230 quilovolts a 750 quilovolts) que, muitas vezes, atravessam o território em vários estados. Já as PCHs, instaladas junto a pequenas quedas d'águas, no geral abastecem pequenos centros consumidores e não necessitam de instalações tão sofisticadas para o transporte da energia.

2.2. VISÃO GERAL DE UM EMPREENDIMENTO HIDRELÉTRICO

A usina hidrelétrica (UHE) é composta, basicamente, por tomada d'água, vertedouro, casa de força e subestação, que funcionam em conjunto e de maneira

integrada de modo a controlar os níveis de água, operar com a maior eficiência possível de geração de energia e gerenciar a interface entre o empreendimento hidrelétrico e o sistema elétrico (interligado ou não) externo ao mesmo.

Na ilustração 1, pode-se ver o reservatório, o vertedouro, a casa de força e o canal de fuga através da vista aérea da usina hidrelétrica de Itaipú.



Ilustração 1 - Hidrelétrica de Itaipú

Fonte: Banco de imagens de Itaipú

2.2.1. Tomada d'água

Dentro do conjunto chamado de tomada d'água, temos a barragem e o canal de adução. O objetivo da barragem é interromper o curso normal do rio e permitir a formação do reservatório para armazenamento da água e permitir a formação do desnível necessário para a configuração da energia hidráulica, a captação da água em volume adequado e a regularização da vazão dos rios em períodos de chuva ou estiagem.

As usinas hidroelétricas que não possuem reservatório são chamadas de usinas “a fio d'água” e utilizam turbinas que aproveitam a velocidade do rio para gerar energia. Essa concepção de usina reduz as áreas de alagamento e não

formam reservatórios para estocar a água, ou seja, a ausência de reservatório diminui a capacidade de armazenamento de água, única maneira de poupar energia elétrica para os períodos de seca.

Os sistemas de tomada d'água são formados por condutos forçados ou túneis de adução que têm a função de levar a água até a casa de força com a velocidade desejada e com a menor perda de energia possível.

Os principais equipamentos presentes na tomada d'água além das estruturas civis são: grades metálicas para evitar que troncos ou outros objetos sejam levados até a turbina, comportas hidráulicas para fechamento do fluxo de água em caso de emergência ou parada por manutenção, equipamentos de levantamento para montagem dos equipamentos na etapa de construção ou para movimentação dos painéis da comporta e finalmente instrumentos de medição de nível de água.

2.2.2. Vertedouro

O vertedouro é responsável por controlar o nível de água do reservatório e garantir uma vazão sanitária do rio a jusante da UHE.

Uma função importante do vertedouro é permitir a passagem da água através da abertura da comporta onde há excesso de vazão ou de chuva. Outra é a existência de água em quantidade maior que a necessária para o armazenamento ou a geração de energia. Em períodos de chuva, o processo de abertura de vertedouros busca evitar enchentes na região de entorno da usina.

Podem estar situado adjacente ou não à estrutura de tomada d'água, o vertedouro possui os principais equipamentos além das estruturas civis: comportas hidráulicas para controlar o nível de água a montante da usina com a possibilidade de aberturas parciais, equipamentos de levantamento e finalmente instrumentos de medição de nível de água.

2.2.3. Casa de Força

É na casa ou caverna de força onde estão localizados os equipamentos de geração, transformação, movimentação, monitoramento; automação; sistemas auxiliares mecânicos e elétricos.

Os equipamentos de geração de energia são basicamente as turbinas e geradores. As turbinas são formadas por uma série de pás ligadas a um eixo conectado ao gerador através de um eixo “girante”. Durante o seu movimento giratório, as turbinas convertem energia potencial em energia cinética (do movimento da água). Os geradores convertem energia cinética em energia elétrica que produzirão a eletricidade.

Os principais tipos de turbinas hidráulicas são: Pelton, Kaplan, Francis e Bulbo. Cada tipo de turbina foi concebido para operar conforme determinada faixa de altura de queda e vazão do empreendimento hidrelétrico. As turbinas tipo Kaplan e Bulbo são utilizadas nas usinas de baixas quedas e grandes vazões.

O gerador é composto de uma parte rotativa (rotor) e uma parte estática (estator). Um enrolamento de campo (pólos) é montado no rotor que quando excitado e através do movimento, induz uma tensão elétrica nos enrolamentos estatóricos e, portanto, nos terminais de fases do gerador.

A conversão de energia mecânica em energia elétrica só é possível quando se tem tensão elétrica gerada e um circuito elétrico fechado, ou seja, a presença da circulação de corrente elétrica.

Depois de passar pela turbina e pelo tubo de sucção para desacelerar a velocidade, a água é restituída ao leito natural do rio pelo canal de fuga.

2.2.4. Subestação

A energia elétrica gerada pelos geradores elétricos, devidamente excitados é transportada através de barramentos blindados até os transformadores de potência elevadores e equipamentos associados de proteção e manobra para possibilitarem uma tensão elétrica superior a de geração e transmitida para a rede elétrica através das linhas de transmissão. Tais equipamentos associados de proteção e manobra se localizam na subestação elétrica.

A interligação entre a subestação elétrica e o sistema elétrico é feita, geralmente, através de linhas de transmissão de energia elétrica em alta tensão, conhecidas por “linhas longas”, as quais podem ser projetadas tanto em corrente alternada como em corrente contínua.

3. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

3.1. INTRODUÇÃO

Conforme LAI e CHAN (2007), conservação dos recursos energéticos, preservação ambiental e desenvolvimento sustentável são os três maiores desafios que o mundo está enfrentando atualmente. Um importante desafio é satisfazer as necessidades de energia da população sem causar uma rápida degradação dos recursos naturais e do meio ambiente. Há um consenso mundial que a ênfase maior deveria ser dada ao uso de recursos energéticos renováveis para geração de energia elétrica. Muitos países em desenvolvimento possuem recursos energéticos renováveis abundantes, entretanto estes recursos são invariavelmente localizados em regiões remotas, assim cria-se um número de obstáculos para seu desenvolvimento.

3.2. DEFINIÇÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Estão presentes no conceito de geração distribuída diversas definições. Segundo ACKERMANN e ANDERSSON apud LORA e ADDAD (2006), por exemplo, a geração distribuída é definida como uma fonte de geração conectada diretamente na rede de distribuição ou consumidor. A potência instalada, nesta definição, não é considerada um fator relevante para sua caracterização. Continuando no conceito, a GD é a forma de geração cujo planejamento, operação e despacho não é realizada centralizadamente.

Os autores, neste mesmo trabalho, dividem a geração distribuída em função da potência em Micro (inferior a 10 kW), Pequena (entre 10 kW e 500 kW), Média (entre 500 kW e 5 MW) e Grande (entre 5 MW e 100 MW); e classificam a geração distribuída em dois grupos:

- GD utilizando combustíveis fósseis;
- GD utilizando fontes renováveis.

3.3. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA COM COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

As principais tecnologias de geração distribuída utilizando combustíveis fósseis são:

- Motores alternativos de combustão interna (MACI);
- Microturbinas a gás;
- Motores Stirling;
- Células de combustível;
- Sistemas híbridos;
- Sistemas de refrigeração por absorção e vapor.

3.3.1. Motores Alternativos de Combustão Interna

Um MACI é um motor que converte a energia química contida no combustível em potência mecânica, por meio do conjunto biela-manivela (responsável por transformar o movimento alternativo do pistão em rotação), que é utilizado para rotacionar o eixo do motor, que por sua vez é acoplado a um gerador elétrico, a fim de converter este movimento em potência elétrica.

Os motores alternativos de combustão interna podem ser classificados em dois grupos principais: os motores de ignição por centelha, ou motores Otto, e os de ignição por compressão, motores Diesel. Os motores de ignição por centelha, uma faísca é introduzida no cilindro, através de uma vela, ao término do curso de compressão, provocando a combustão. Operam a 4 ou 2 tempos. Os motores de ignição por compressão, a mistura ar-combustível entra em combustão espontânea devido à elevada temperatura atingida durante a compressão. Também podem operar a 4 ou 2 tempos.

Os MACI também podem ser classificados em função da velocidade de rotação:

- Alta velocidade: 1200 e 3600 rpm. Apresentam a maior produção de potência por unidade de deslocamento e têm os mais baixos custos específicos de investimento, porém a eficiência é menor;
- Média velocidade: 275 e 1200 rpm. Apresentam elevados custos específicos de investimentos, porém as maiores eficiências;

- Baixa velocidade: 59 e 275 rpm. São projetados para queimar combustíveis residuais de baixa qualidade.

Os motores alternativos de combustão interna são amplamente utilizados e constituem a mais desenvolvida de todas as tecnologias de geração de energia distribuída. Eles estão disponíveis desde pequenas capacidades (5 kW para geração de energia de back-up residencial) até motores de grande porte (30 MW ou maiores). Quando os MACI são empregados como motores estacionários, geralmente, utilizam como combustível o gás natural, o óleo diesel ou óleo pesados residenciais. Apresenta uma eficiência de 25 a 45%, entretanto se houver uma adequação aos sistemas de cogeração, a eficiência pode ultrapassar a 80%.

Os motores alternativos apresentam os seguintes atributos:

- Disponibilidade de combustíveis de boa qualidade a preços atrativos, tais como o gás natural e GLP;
- Aperfeiçoamento dos reguladores de eletricidade que asseguram a geração de eletricidade na frequência desejada;
- Bom desempenho em condições de carga parcial;
- Suportam partidas e paradas frequentes, com um tempo de parada e partida entre 0,5 e 15 minutos;
- Podem ser utilizados para fornecimento de energia de back-up em aplicações residenciais, comerciais e industriais;
- Podem ser utilizados em geração na base, no pico, como suporte de rede e geração isolada.

Segundo LORA e ADDAD (2006), no que tange ao desempenho ambiental, as emissões não controladas de NOx são as mais altas entre as tecnologias empregadas em geração distribuída, em especial para os motores do ciclo diesel. Ainda conforme o autor, as vantagens são: o baixo custo específico do investimento; elevada eficiência elétrica; partida rápida; flexibilidade de combustíveis; alta confiabilidade e baixa pressão do gás necessária. As desvantagens são: maiores emissões atmosféricas; ruído e frequentes intervalos de manutenção.

3.3.2. Microturbina a Gás

As microturbinas a gás são derivadas de tecnologias de turbo alimentação de caminhões ou de pequenas turbinas de sistemas auxiliares da aviação. As microturbinas podem ser divididas em duas classes gerais:

- Microturbina com recuperação de calor, a qual apresenta um recuperador de calor dos gases de exaustão a fim de elevar a temperatura do ar fornecido à câmara de combustão;
- Microturbina sem recuperação de calor, que apresenta eficiência e custo de capital menor.

A maioria das microturbinas possui um único eixo, opera em alta rotação, onde estão montados o compressor, a turbina e o gerador. Existe também o ciclo com dois eixos com rotações diferentes. Permitindo que o gerador tenha uma rotação menor do que a da turbina, proporcionando menores perdas em comparação com os geradores que trabalham em alta rotação.

As microturbinas possuem uma faixa de capacidade de 25 a 500 kW e eficiência de 20 a 30% com recuperador de calor. Os combustíveis empregados são: gás natural, GLP, hidrogênio e diesel. Possuem baixa emissão de poluentes. São utilizadas em *stand-by*, para melhoria e confiabilidade da rede, atendimento de cargas de pico e aplicações de cogeração. São bem adequadas para aplicações comerciais e residenciais de grande porte.

Segundo LORA e ADDAD (2006), as vantagens das microturbinas são: menor quantidade de componentes rotativos; tamanho e peso reduzido; elevada eficiência em sistemas de cogeração; baixo nível de emissões; pode operar com combustíveis residuais e longo intervalo entre as manutenções. Continuando segundo o autor, as desvantagens são: a baixa eficiência elétrica e a perda de potência e de eficiência para locais de elevada temperatura e altitude.

3.3.3. Motores Stirling

O motor Stirling ou motor alternativo de combustão externa é composto de um sistema selado que possui um fluido de trabalho inerte, geralmente o hélio ou hidrogênio. A combustão acontece fora do motor e o calor é transferido ao fluido de trabalho através de um trocador de calor.

Esse tipo de motor proporciona uma capacidade de 1 a 25 kW com eficiência de 12 a 20 % e utiliza preferencialmente o gás natural como combustível. Geralmente projetados para sistemas de cogeração, o motor Stirling proporciona baixa emissão de gases.

As principais aplicações são:

- Pequena capacidade de geração elétrica: uso residencial ou sistemas portáteis;
- Coletores solares: o calor refletido nos coletores solares é usado para acionar o motor Stirling;
- Veículos, navios e aviação de pequeno porte;
- Produção a frio: aplicações de resfriamento de microprocessadores e supercondutores.

Segundo LORA e ADDAD (2006), as vantagens dos motores Stirling são: operação com baixo nível de ruído e vibrações; baixa emissão; pouca manutenção e alta confiabilidade; flexibilidade com relação ao tipo de combustível a ser usado e vida útil longa. As desvantagens são: alto custo; baixa eficiência; baixa relação potência/peso.

3.3.4. Células a Combustível

Para criar corrente elétrica a célula a combustível utiliza uma reação eletroquímica. Os elétrons podem ser liberados para um circuito externo, através de conexões com as placas que formam o anodo e o catodo da célula (eletrodos). Os reagentes da célula a combustível são gases (hidrogênio e oxigênio), que são combinados em um processo eletroquímico em presença de um catalisador onde o gás natural tem sido considerado como o mais indicado para aplicações em geração distribuída. Como o reagente é fornecido à célula constantemente, a unidade produz eletricidade continuamente sem necessidade de recarga como acontece em baterias. Portanto, as células a combustível convertem energia química de combustíveis diretamente em eletricidade.

Existem quatro tecnologias de células a combustível em desenvolvimento atualmente: de ácido fosfórico; de carbonato fundido; de óxido sólido e de membrana para troca de prótons.

Em todas as células a combustível há a necessidade de se rejeitar calor do sistema, o qual pode ser aproveitado para aquecimento de água, portanto são particularmente atraentes para sistemas de cogeração, e atualmente quase todos os produtos em desenvolvimento contemplam a opção pela cogeração. As principais aplicações por tipo de célula a combustível são:

Células a combustível de ácido fosfórico

- Sistemas compactos com alta confiabilidade e disponibilidade;
- Baixo ruído e vibração;
- Emissões desprezíveis;
- Altas eficiências (36 – 45%).

Células a combustível de carbonato fundido

- Potência na faixa de 250 a 10MW;
- Geração de potência de base, tanto para geração de energia elétrica ou cogeração;
- Setor industrial, instalações governamentais, universidades e hospitais;
- Altas eficiências (43 – 55%).

Células a combustível de óxido sólido

- Potência na faixa de 1 a 10MW;
- Cogeração residencial, comercial;
- Pequenas instalações industriais;
- Sistemas híbridos com microturbinas a gás;
- Altas eficiências (43 – 55%).

Células a combustível de membrana para troca de prótons

- Setor automotivo;
- Setor residencial (<10 kW);
- Setor comercial (10 a 250 kW);
- Setor industrial (<250 kW);
- Sistemas portáteis;
- Altas eficiências (32 – 40%).

Segundo LORA e ADDAD (2006), as vantagens da célula a combustível são: geração de energia silenciosa; baixa emissão; alta eficiência e confiabilidade comprovada para as células de carbonato fundido. Entretanto as desvantagens são:

alto custo; indisponibilidade comercial (exceto a célula de ácido fosfórico); tecnologia em desenvolvimento; pouca experiência de campo; rejeição de calor a baixa temperatura para as células de membrana para troca de prótons.

3.3.5. Sistemas Híbridos

São sistemas que utilizam duas ou mais fontes de geração de energia elétrica. Estes sistemas visam o aumento da eficiência devido à integração entre sistemas.

A complementação é um dos pontos principais, pois no sistema eólico/solar, por exemplo, nos dias em que o céu estiver nublado e a obtenção de energia da placa fotovoltaica for reduzida o aerogerador continua sua produção sem interferência. Um sistema híbrido pode operar diretamente conectado à carga, que pode ser utilizada para bombeamento de água e aplicações que não exijam estabilidade e eficiência, por exemplo.



Ilustração 2 - Imagem ilustrativa de um Sistema Híbrido Eólico-Solar

Fonte: ECOPLANETENERGY (2014)

Existem diversos estudos buscando meios de combinar tecnologias visando obter um melhor desempenho e maior eficiência dos equipamentos utilizados na geração descentralizada. Outro exemplo de sistema híbrido desenvolvido inclui uma

célula a combustível de alta temperatura combinada a uma microturbina a gás, a um motor alternativo ou a outra célula.

A utilização do sistema híbrido eólico fotovoltaico de geração de energia em residências, conforme ilustrado na figura anterior, é uma boa opção para reduzir e/ou zerar a necessidade do consumo da energia proveniente das empresas concessionárias de energia.

Além das fontes de geração de energia elétrica, os sistemas híbridos podem possuir um acumulador de energia, que é formado por um banco de baterias.

3.3.6. Sistemas Frigoríficos por Absorção

O sistema de refrigeração por absorção consiste na combinação de sistemas frigoríficos a geração distribuída utilizando a cogeração, permitindo reduzir a demanda de energia elétrica nos sistemas frigoríficos por compressão e proporcionar uma demanda térmica. A principal fonte de energia é o calor a temperaturas relativamente baixas, que pode ser fornecido ao equipamento pela sua queima de um combustível ou a partir do calor residual de um determinado processo, presente nos ciclos de cogeração.

Segundo LORA e ADDAD (2006), as vantagens dos ciclos de refrigeração por absorção são: simplicidade de projeto e com poucas partes móveis; bastante silenciosos; baixo consumo de energia elétrica; capacidades de 5 a 1500 TR e utiliza refrigerantes com baixo potencial de agressão à camada de ozônio e baixo potencial de aquecimento global. Ainda segundo o autor, a possibilidade da utilização do calor residual dos processos de geração de eletricidade como fonte de energia, coloca os sistemas de refrigeração por absorção como uma alternativa promissora para os sistemas de cogeração.

3.4. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA COM FONTES RENOVÁVEIS

As principais tecnologias de geração distribuída utilizando fontes renováveis são:

- Energia eólica;
- Energia solar fotovoltaica;

- Pequena central hidrelétrica (PCH);
- Biomassa.

Somente ressaltando que as formas de geração de energia elétrica para atenderem o requisito de fonte de geração distribuída devem estar obrigatoriamente ligadas a rede de distribuição ou em sistemas isolados da rede elétrica, conforme discutido no início deste capítulo.

3.4.1. Energia Eólica

Conforme ANEEL (2008), a energia cinética contida nas massas de ar em movimento através do vento é chamada de energia eólica. O aproveitamento ocorre através da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação através do emprego de turbinas eólicas ou também denominadas de aerogeradores para a geração de energia elétrica.

“Diferentes configurações de turbinas eólicas coexistiram durante algum tempo, destacando-se a possibilidade de variações quanto à orientação dos eixos das turbinas: verticais ou horizontais, ou à posição dos rotores: a jusante ou a montante das torres” (VEIGA 2012).

Os aerogeradores de eixo horizontal podem ter 1 pá, 2 pás, 3 pás ou múltiplas pás, os de eixo vertical podem ser do modelo Darrieus, modelo V, modelo H e modelo Savonius.

Atualmente, o aerogerador mais comum possui o eixo de rotação horizontal, três pás, alinhamento ativo, gerador de indução, estrutura não-flexível. Como demonstrado na ilustração 3, os principais componentes deste tipo de aerogeradores são:

- Pás: são perfis aerodinâmicos que convertem a energia cinética do vento em trabalho mecânico, normalmente as pás são fabricadas com fibra de vidro e resina epóxi, com um diâmetro de rotor variável de acordo com a potência da turbina;
- Torre: normalmente a torre é composta por seções que facilitam a montagem, pode ser metálica ou de concreto e sua função é elevar e suportar a turbina na altura ideal para o funcionamento do aerogerador;

- Nacele: local onde estão o gerador, eixo, caixa multiplicadora (quando utilizada), que fica montada sobre a torre e onde se acopla o rotor;
- Hub: é o local onde são acopladas as 3 pás. Também é conhecido como cubo;
- Eixo: liga o hub ao gerador através da transferência da energia mecânica da turbina pelo eixo;
- Gerador: transforma a energia mecânica em energia elétrica;
- Caixa multiplicadora: adapta a velocidade do rotor à velocidade do gerador convencional. Pode ou não existir, dependendo do tipo do aerogerador escolhido;
- Aerogeradores: sem caixa multiplicadora utilizam geradores multipolos de baixa velocidade fazendo com que a ligação possa ser direta ao gerador;
- Outros componentes: como por exemplo, o painel elétrico (DTA) que, dependendo do tipo do aerogerador, pode ser interno ou externo, sistema de freio, sistema de proteção e sistema de controle, que pode incluir o controle ativo (projetado para direcionar a máquina com relação à direção do vento) e controle ativo de passo da pá (permite a pá a girar em torno do seu próprio eixo).

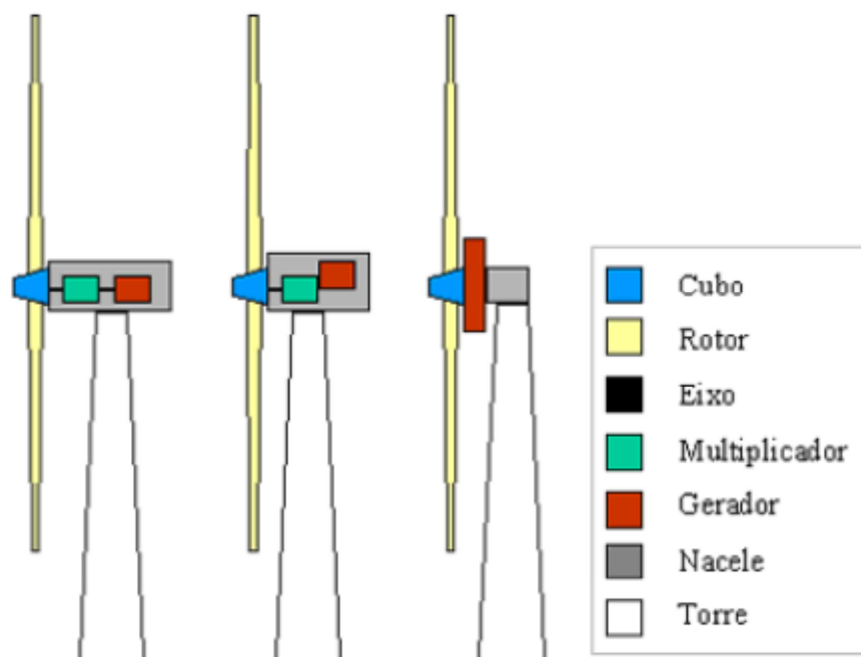


Ilustração 3 - Componentes de um Aerogerador

Fonte: CRESESB (2014)

O conjunto formado pelas três pás, hub (cubo) e mecanismos de controle de passo é conhecido como Rotor Eólico.

As turbinas eólicas são classificadas em pequenas (potência nominal menor que 500 kW); médias (potência nominal entre 500 e 1000 kW) e grandes (potência nominal maior que 1 MW).

Foram sendo empregadas diversas inovações tecnológicas na turbina eólica, tais como: a utilização de acionamento direto, com geradores síncronos e novos sistemas de controle, que permitem o funcionamento das turbinas em velocidade variável, com qualquer tipo de gerador. As turbinas podem ser conectadas a rede elétrica ou destinadas ao suprimento de eletricidade de comunidades ou sistemas isolados através da geração distribuída.

O conjunto rotor da turbina e a *nacele* são montados no topo da torre, proporcionando uma altura do cubo do rotor variável de acordo com o modelo ou a potência.

Quando os aerogeradores são instalados em uma localização dentro do continente, a instalação é chamada de *on shore*. Quando a instalação localiza-se no mar, a instalação é chamada de *off shore*.

Projetos *off shore* surgiram em 1991 na Dinamarca e estão em constante desenvolvimento tanto no aspecto técnico como no aspecto econômico. Apresentam custos superiores de construção e manutenção. Entretanto, pode ser uma alternativa viável do ponto de vista ecológico e por falta de espaço no continente. No Brasil, a tecnologia predominante é *on shore*.

Predominantemente, tem sido usado como elemento de ligação o bloco de concreto com dimensões apropriadas a cada tamanho de turbina, ligados ao solo através de ancoragens ou estacas do tipo raiz, dependendo do solo encontrado.

Os ventos presentes no território brasileiro se caracterizam por uma presença duas vezes superior à média mundial e pela volatilidade de 5% (oscilação da velocidade), o que dá maior previsibilidade ao volume a ser produzido. Somado a este fator, como a velocidade costuma ser maior em períodos de estiagem, é possível operar as usinas eólicas em sistema complementar com as usinas hidrelétricas, de forma a preservar a água dos reservatórios em períodos de poucas chuvas. A geração através de parques eólicos permite, portanto, a “estocagem” da energia elétrica.

3.4.2. Energia Solar Fotovoltaica

A radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica para aquecimento ou fonte para geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, através de efeitos termoelétrico e fotovoltaico.

No efeito fotovoltaico, os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica, através do uso de células solares. Entre os materiais mais apropriados para a conversão da radiação solar em energia elétrica, destaca-se o silício. As melhores células apresentam um índice de eficiência em conversão de energia elétrica de 25%.

Sistemas fotovoltaicos são compostos por módulos, inversores, dispositivos de proteção, sistema de fixação e suporte dos módulos, cabos e, opcionalmente, baterias e controladores de carga – mas que são usuais em sistemas isolados.

A instalação do sistema fotovoltaico pode ser adotada para três modelos de fornecimento: sistema isolado, sistema híbrido (com mais de uma fonte geradora de energia) e ligado à rede.

Sistema Isolado pode ser com armazenamento, utilizando baterias, e assim aumentando o investimento. Ou sem armazenamento, sendo a energia gerada imediatamente consumida, são utilizadas, por exemplo, no bombeamento de água. Pode ser utilizado como um sistema de comutação com a rede, por exemplo, em uma residência quando existir a radiação solar, o sistema fotovoltaico é acionado, causando uma redução nos custos;

Sistema híbrido é a combinação entre a geração fotovoltaica com outra forma de geração de energia. Estes outros sistemas se encarregam de manter a carga das baterias quando na ausência de insolação. Existe a necessidade de um controle mais eficiente para este tipo de sistema;

Sistema ligado à rede de distribuição pública podendo ser distribuídos em dois tipos, produtor/consumidor ou apenas produtor. Para este sistema o produtor pode vender a energia gerada para a concessionária, sendo necessários alguns equipamentos para efetuar esta venda:

- Módulo Fotovoltaico: equipamento que converte a energia solar em energia elétrica;

- Inversor: equipamento que converte a corrente contínua em corrente alternada;
- Contador: equipamento que monitora a energia elétrica produzida;
- Quadro Elétrico: quadro de conexão entre a rede pública e produtor, no qual também estão localizados os dispositivos de proteção;
- Dispositivos de Proteção: equipamentos que protegem a instalação em caso de curto circuito, descarga atmosférica ou sobrecargas.

Células Fotovoltaicas

As células fotovoltaicas são feitas de materiais semicondutores, em sua grande maioria, o material adotado é o silício (Si), sendo que este material não conduz corrente elétrica. Portanto, ao silício são adicionados dois outros elementos: o Boro (B) e o Fósforo (P).

A célula fotovoltaica não armazena a energia elétrica gerada.

Bateria

A utilização de baterias normalmente é adotada para sistemas isolados que não estão conectados à rede de distribuição, ou para sistemas que estão conectados, mas não podem sofrer a parada de fornecimento. Contudo não é muito usual a utilização de baterias para as instalações de micro e mini geração em sistemas de compensação energética.

A bateria é o elemento que armazena a energia gerada pelas células fotovoltaicas, permitindo assim o funcionamento da instalação mesmo quando ocorre a ausência da luz solar. A circulação dos íons entre os eletrodos da bateria forma a corrente elétrica que se extingue quando um dos reagentes eletroquímicos se esgota.

Um acumulador é um recipiente com dois eletrodos ligados por um eletrólito, o caso mais comum de utilização é uma solução chumbo ácida que seja capaz de conduzir eletricidade.

As baterias são constituídas de células com características de tensão e potência fixa. Para conseguir uma tensão desejada é necessário realizar uma ligação em série das células. E para conseguir a potência é realizada uma ligação em série e/ou paralelo

Controlador de Carga

Principal função deste equipamento é a de proteger os acumuladores solares contra as sobrecargas que podem ocorrer. Também serve para impedir que após ter

sido carregada por completo a bateria continue a receber carga dos painéis solares, aumentando assim a vida útil da bateria, pois evita que ela venha a deteriorar por meio da gaseificação ou aquecimento. Outra função do regulador de cargas é de prevenir a descarga profunda, evitando que esgote o reagente eletroquímico por completo, tornando difícil sua regeneração.

Inversores

Os inversores são circuitos estáticos, não apresentam partes móveis, que tem como objetivo a conversão da potência CC de entrada para a potência CA de saída. A tensão de saída apresenta uma forma de onda periódica, contudo não é senoidal, mas sim uma boa aproximação.

Esses equipamentos não apenas faz a conversão CC para CA, mas também serve como conexão com a rede de distribuição.

De acordo com ANEEL (2008), o Brasil é privilegiado em termos de radiação solar e registra uma variação de radiação de 8 a 22 MJ por metro quadrado durante o dia, sendo que as menores variações ocorrem nos meses de maio a julho, variando de 8 a 18 MJ/m². O Nordeste possui radiação comparável às melhores regiões do mundo nessa variável, como a cidade de Dongola, no deserto do Sudão, e a região de Dagget, no Deserto de Mojave, Califórnia. O que, porém, não ocorre com outras localidades mais distantes da linha do Equador, como as regiões Sul e Sudeste, onde está concentrada a maior parte da atividade econômica.

Lançado em 2003 pelo Ministério de Minas e Energia, o programa Luz para Todos, instalou diversos sistemas fotovoltaicos no Estado da Bahia. Com o objetivo de levar energia elétrica a uma população superior a 10 milhões de pessoas que residem no interior do país, ele contempla o atendimento das demandas do meio rural através de três tipos de iniciativas: extensão da rede das distribuidoras, sistemas de geração descentralizada com redes isoladas e sistemas de geração individuais.

Atualmente, a participação da geração solar fotovoltaica na matriz energética nacional é bastante reduzida, conforme capítulo 4.1.

3.4.3. Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH)

Tecnicamente as pequenas centrais hidrelétricas não se diferenciam das grandes hidrelétricas, previamente abordadas no capítulo anterior, pois a tecnologia

de aproveitamento é a mesma para os dois casos. As diferenças estão basicamente no total da área alagada, volumes de concreto utilizados nas estruturas civis da usina, tamanho dos equipamentos, simplicidades de alguns sistemas e prazo de construção da usina.

Conceitualmente, a PCH procura atender demandas próximas ao centro de carga, em áreas periféricas ao sistema de transmissão e em pontos marcados pela expansão agrícola nacional de modo a promover o desenvolvimento de regiões remotas do país.

3.4.4. Biomassa / Biogás

A biomassa é a matéria orgânica de origem animal ou vegetal que pode ser utilizada para produção de energia através da combustão direta (com ou sem processos físicos de secagem, classificação, compressão, corte/quebra, etc.), processos termoquímicos (gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação) ou processos biológicos (digestão anaeróbia e fermentação).

As principais tecnologias de aproveitamento energético da biomassa são:

- Combustão direta;
- Gaseificação;
- Pirólise;
- Digestão anaeróbica;
- Fermentação;
- Transesterificação.

Combustão Direta

A transformação química dos combustíveis em calor é chamada de combustão, que se realiza através das reações dos elementos constituintes com o oxigênio fornecido. A combustão direta ocorre em fogões, fornos e caldeiras. Este processo é prático, conveniente e ineficiente (em torno de 20%), somado a baixa densidade energética do combustível (lenha, palha, resíduos, etc.), o que dificulta o transporte e a armazenagem.

Gaseificação

É o processo de conversão de combustíveis sólidos em gasosos, através de reações termoquímicas, envolvendo vapor quente e ar, ou oxigênio, em quantidades inferiores à estequiométrica (mínimo teórico para a combustão). Os gaseificadores

mais comuns são os reatores de leito fixo e de leito fluidizado. A resultante é um gás misturado de monóxido de carbono, hidrogênio, metano, dióxido de carbono e nitrogênio, cujas proporções variam de acordo com as condições do processo, particularmente se é ar ou oxigênio que está sendo usado.

Geralmente, o gás resultante contém cerca de 30% de nitrogênio e 20% de CO_2 , o que significa um combustível de baixo conteúdo energético (cerca de 900 kcal/m³) e impróprio para certos fins, como o uso em motores de combustão interna. Temos como exemplo a geração de eletricidade em comunidades isoladas das redes de energia elétrica, sem a necessidade de um ciclo a vapor, através da queima direta do gás em motores de combustão interna.

Pirólise

Também chamado de carbonização, a pirólise é o mais simples e mais antigo processo de conversão de um combustível (normalmente lenha) em outro de melhor qualidade e conteúdo energético (carvão essencialmente). O processo consiste em aquecer o material original (normalmente entre 300 °C e 500 °C), na "quase-ausência" de ar, até que o material volátil seja retirado. O principal produto final (carvão) tem uma densidade energética duas vezes maior do que aquela do material de origem e queima em temperaturas muito mais elevadas. Além de gás combustível, a pirólise produz alcatrão e ácido piro-lenhoso. A pirólise pode ser empregada também no aproveitamento de resíduos vegetais, como subprodutos de processos agroindustriais.

Digestão Anaeróbica

Assim como a pirólise, a digestão anaeróbica ocorre na ausência de ar; mas, nesse caso, o processo consiste na decomposição do material pela ação de bactérias (microrganismos acidogênicos e metanogênicos). Trata-se de um processo simples, que ocorre naturalmente com quase todos os compostos orgânicos.

O tratamento e o aproveitamento energético de dejetos orgânicos (esterco animal, resíduos industriais, etc.) podem ser feitos através da digestão anaeróbia em biodigestores, onde o processo é favorecido pela umidade e aquecimento. O aquecimento é provocado pela própria ação das bactérias, mas, em regiões ou épocas de frio, pode ser necessário calor adicional, visto que a temperatura deve ser de pelo menos 35 °C.

O produto final é o biogás, composto essencialmente por metano (50% a 75%) e dióxido de carbono. Seu conteúdo energético gira em torno de 5.500 kcal por metro cúbico. O efluente gerado pelo processo pode ser usado como fertilizante.

Fermentação

É um processo biológico anaeróbio, em que os açúcares de plantas como a batata, o milho, a beterraba e, principalmente, a cana de açúcar, são convertidos em álcool, por meio da ação de microrganismos (usualmente leveduras). Em termos energéticos, o produto final, o álcool, é composto por etanol e, em menor proporção, metanol, e pode ser usado como combustível (puro ou adicionado à gasolina – cerca de 20%) em motores de combustão interna.

Transesterificação

É um processo químico que consiste da reação de óleos vegetais com um produto intermediário ativo (metóxido ou etóxido), oriundo da reação entre álcoois (metanol ou etanol) e uma base (hidróxido de sódio ou de potássio). Os produtos dessa reação química são a glicerina e uma mistura de ésteres etílicos ou metílicos (biodiesel). O produto obtido (biodiesel) tem características físico-químicas muito semelhantes às do óleo diesel e, portanto, pode ser usado em motores de combustão interna, de uso veicular ou estacionário.

Além de mais favorável ao meio ambiente, o uso energético da biomassa promove a geração local e descentralizada de empregos, reduzindo o problema do êxodo rural e a dependência externa de energia, em função da sua disponibilidade local.

Dentre as fontes de biomassa para geração de energia elétrica, destaque para a cana de açúcar. A participação é importante não só pela diversificação da matriz elétrica, mas também porque a safra coincide com o período de estiagem na região Sudeste e Centro-Oeste. Ainda como fator positivo, vale ressaltar que uma significativa vantagem para as indústrias do setor, associada à bioeletricidade, é a garantia de aporte financeiro constante propiciado pela comercialização de energia, em contraposição à sazonalidade da produção de cana a que as mesmas estão sujeitas.

4. SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

4.1. INTRODUÇÃO

Conforme IBGE (2010), em novembro de 2010, a população brasileira já ultrapassava seus 190 milhões de habitantes e cerca de 95% da população tinha acesso à rede elétrica, sendo que cerca de 85% era residencial.

De todos os segmentos de infraestrutura, a energia elétrica é um dos mais complexos, pois está relacionada à sua localização, dificuldades físicas, econômicas e ambientais para extensão da rede elétrica em todas as regiões geográficas brasileiras: Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e Norte. Cada região possui particularidades que determinam os contornos que os sistemas de geração, transmissão e distribuição adquiriram ao longo dos anos e ainda determinam a maior ou menor facilidade de acesso da população local à rede elétrica.

De acordo com a ANEEL (2014), a capacidade instalada total do sistema elétrico brasileiro era de cerca de 126,8 GW. Esse total engloba não apenas as unidades geradoras do SIN, mas conta também com aquelas instaladas nos sistemas isolados e a autoprodução clássica, não contabilizando a parcela de importação da UHE Itaipu não consumida pelo sistema elétrico paraguaio.

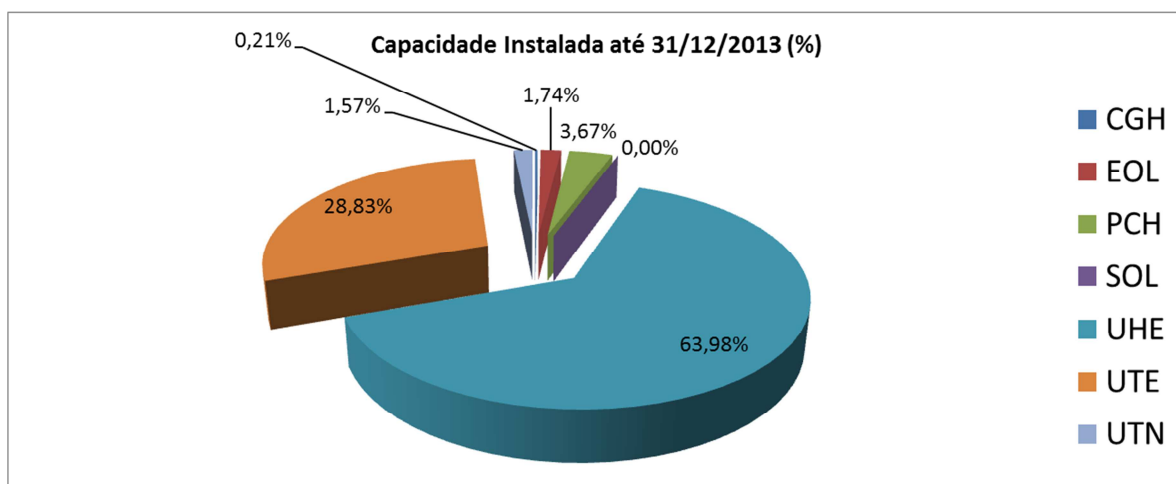
A distribuição da capacidade instalada por tipo de fonte do parque gerador existente é apresentada na ilustração 4 a seguir.

De acordo com o EPE (2013), a taxa de aumento de consumo de energia elétrica no Brasil a partir de 2013 até o fim de 2022 seria na ordem de 4,1% ao ano, atingindo 672 TWh.

Ainda conforme EPE (2013), a expansão da capacidade instalada para geração de energia elétrica se destaca a elevação da participação da região Norte na expansão de projetos de geração de energia elétrica, passando de 10%, no início de 2013, para 26% da capacidade instalada no SIN, em 2022, totalizando 34.344 MW de expansão. Em contrapartida, nas Regiões Sudeste/Centro-Oeste, há uma redução de 58% para 43% na participação na oferta total do sistema, mesmo com uma expansão prevista, em termos absolutos, de 9.384 MW para o horizonte

decenal. A expansão da potência instalada agregará 63.518 MW ao SIN, representando um acréscimo de 53% na oferta de eletricidade.

Ilustração 4 – Gráfico da Capacidade Instalada por Tipo de Fonte em 31/12/2013 (%)



Fonte: ANEEL (2014)

A tabela a seguir apresenta a previsão da capacidade instalada de energia elétrica brasileira até o ano de 2020 em dois cenários, o cenário conservador e o cenário otimista.

Tabela 4.1 - Previsão para Capacidade Instalada

Previsão para Capacidade Instalada*		
	Conservadora	Otimista
2014	134.280,11	134.280,11
2015	142.095,90	142.661,00
2016	149.515,27	153.571,11
2017	154.120,77	160.112,80
2018	158.999,82	167.344,21
2019	161.015,92	169.493,86
2020	161.040,92	169.566,63

Fonte: ANEEL (2014)

4.2. SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL (SIN)

O Sistema Interligado Nacional (SIN) é o sistema de geração e transmissão de energia elétrica do Brasil, com forte predominância de hidrelétricas e com

múltiplos proprietários. O SIN é formado pelas empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. Conforme ONS (2014), apenas 1,7% da energia requerida pelo país encontra-se fora do SIN, em pequenos sistemas isolados localizados principalmente na região amazônica.

No Brasil, o segmento de transmissão é composto por mais de 90 mil quilômetros de linhas em tensão igual ou maior que 230 kV. As empresas que obtiveram as concessões destas linhas ao participarem de leilões públicos promovidos pela ANEEL, são responsáveis pela implantação e operação da rede que liga as usinas às companhias distribuidoras localizadas junto aos centros consumidores.

É importante destacar que um sistema integrado de transmissão de energia elétrica potencializa a geração de energia, entretanto o mesmo sistema proporciona perdas em função da transmissão de energia elétrica.

4.3. DISTRIBUIDORAS DE ENERGIA ELÉTRICA

Conforme ANEEL (2008), a conexão e atendimento ao consumidor, são realizados pelas distribuidoras de energia elétrica e por cooperativas de eletrificação rural. Em 2008, a ANEEL relacionava 53 dessas cooperativas que, espalhadas por diversas regiões do país, atendem a pequenas comunidades.

Ainda conforme o autor, o mercado de distribuição de energia elétrica, é formado por 63 concessionárias, responsáveis pelo atendimento de mais de 61 milhões de unidades consumidoras. O controle acionário dessas companhias pode ser estatal ou privado. No primeiro caso, os acionistas majoritários são o governo federal, estaduais e/ou municipais. Nos grupos de controle de várias empresas privadas verifica-se a presença de investidores nacionais, norte-americanos, espanhóis e portugueses.

As distribuidoras são empresas que recebem das companhias de transmissão todo o suprimento destinado ao abastecimento no país. Nas redes de transmissão, após deixar a usina, a energia elétrica trafega em tensão que varia de 88 kV (quilovolts) a 750 kV. Ao chegar às subestações das distribuidoras, a tensão é rebaixada e, que na maioria dos casos, chega à unidade final em 127 volts ou 220 volts.

Os consumidores finais de energia elétrica pagam as faturas mensais emitidas pelas distribuidoras que registram a quantidade de energia elétrica consumida no mês anterior e medida em kWh.

4.4. SISTEMAS ISOLADOS

Geralmente, os sistemas isolados são abastecidos por usinas térmicas movidas a óleo diesel e óleo combustível – embora também abriguem Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) e termelétricas movidas a biomassa. Esses sistemas estão localizados principalmente na região Norte: nos Estados de Amazonas, Roraima, Acre, Amapá e Rondônia. São assim denominados por não estarem interligados ao SIN e por não permitirem o intercâmbio de energia elétrica com outras regiões, em função das peculiaridades geográficas da região em que estão instalados. Segundo dados da Eletrobrás, eles atendem a uma área de 45% do território brasileiro e a cerca de 3% da população nacional – aproximadamente 1,3 milhão de consumidores espalhados por 380 localidades.

De acordo com o EPE (2013), as usinas existentes dos sistemas isolados em Junho de 2012 totalizavam 3.136 MW de capacidade instalada, deste total, 2.265 MW está localizado no estado do Amazonas.

As capitais Rio Branco (AC), Macapá (AP), Manaus (AM) e Porto Velho (RO) e o estado de Roraima (com exceção da capital Boa Vista e seus arredores, abastecidos pela Venezuela) são supridas por sistemas isolados de maior porte. Manaus tem o maior deles, com 50% do mercado total dos sistemas isolados.

Os Sistemas Isolados, predominantemente térmicos, apresentam custos de geração superiores ao SIN. Além disso, as dificuldades de logística e de abastecimento dessas localidades pressionam o frete dos combustíveis (com destaque para o óleo diesel). Para assegurar à população atendida por esses sistemas os benefícios usufruídos pelos consumidores do SIN, o Governo Federal criou a Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis (CCC), encargo setorial que subsidia a compra do óleo diesel e óleo combustível usado na geração de energia por usinas termelétricas que atendem às áreas isoladas. Essa conta é paga por todos os consumidores de energia elétrica do país.

4.5. GERAÇÃO HIDRELÉTRICA NO BRASIL

Ser favorecido por recursos naturais que se transformam em fontes de produção de energia é essencialmente estratégico para qualquer país, pois reduz a dependência do suprimento externo e aumenta a segurança quanto ao abastecimento aos consumidores de energia elétrica. Em se tratando de potenciais hídricos, a esses argumentos favoráveis, somam-se outros dois: o baixo custo do suprimento na comparação com outras fontes (carvão, petróleo, urânio e gás natural, por exemplo) e o fato de a operação das usinas hidrelétricas não provocarem a emissão de gases causadores do efeito estufa.

Conforme o BP (2014), a participação da hidroeletricidade na produção total de energia elétrica no Brasil era de 87,2% em 2013. As hidrelétricas são essenciais para geração de energia elétrica brasileira e exercem um papel determinante para a “limpa” matriz energética brasileira.

O Brasil possui um potencial hidrelétrico aproveitável de 260 GW. Desse total, mais de 70% estão nas bacias do Amazonas e do Tocantins/Araguaia.

A primeira hidrelétrica de maior porte começou a ser construída no Nordeste (Paulo Afonso I, com potência de 180 MW), pela Companhia Hidrelétrica do São Francisco (Chesf, estatal constituída em 1948). As demais, erguidas ao longo dos 60 anos seguintes, concentraram-se nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste (com o aproveitamento integral do rio São Francisco). No Norte foram construídas Tucuruí, no Pará, e Balbina, no Amazonas. Mas apenas nos anos 90 a região começou a ser explorada com maior intensidade, com a construção da Usina Serra da Mesa (GO), no rio Tocantins.

Assim, a partir de 2008, a maioria das grandes centrais hidrelétricas brasileiras localiza-se nas bacias do rio São Francisco e, principalmente, do Paraná, particularmente nas sub-bacias do Paranaíba, Grande e Iguaçu, apesar da existência de unidades importantes na região Norte. Os potenciais da região Sul, Sudeste e Nordeste já estão, portanto, quase integralmente explorados.

As usinas atualmente em construção e usinas previstas para os próximos anos localizam-se na bacia do Amazonas, no rio Madeira, destaque para Santo Antonio e Jirau; na bacia do Tapajós, destaque para usina de São Luiz do Tapajós; na bacia do rio Teles Pires, destaque para usina de Teles Pires e na bacia do rio Xingu, com destaque para a usina de Belo Monte.

As UHEs, que já compõem o maior conjunto de empreendimentos de geração do SIN, ainda apresentam grande potencial a ser explorado e suficiente para permanecer como a fonte predominante no atendimento à crescente demanda de eletricidade do país. Especialmente nas bacias da região Norte e Centro-Oeste, os inventários hidrelétricos apontam que projetos importantes poderão ser viabilizados nos próximos anos, a despeito da crescente complexidade socioambiental que, normalmente, impõe estágios de desenvolvimento extensos.

Estudos de viabilidade de UHE aprovados ou com aceite da ANEEL superavam, em março de 2013, os 8.000 MW. Destaca-se que a geração hidrelétrica é uma tecnologia muito madura e seu preço médio nos últimos leilões de expansão do sistema tem sido baixo se comparado com as outras fontes disponíveis no país.

4.6. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL

De acordo com o EPE (2013), destaca-se a relevância da autoprodução de energia elétrica na rede, uma vez que se trata de parcela do consumo total de eletricidade que não demandará investimento para a expansão do parque de geração e de transmissão do sistema elétrico brasileiro. A autoprodução de energia elétrica nos segmentos de etanol, petróleo e gás natural, deverá apresentar expansão significativa no horizonte decenal. Estima-se que a extração de petróleo da camada pré-sal demandará patamares mais elevados de geração elétrica nas plataformas offshore.

Ainda conforme o autor, a projeção da autoprodução de energia elétrica, para o horizonte de dez anos, mostra uma expansão de 8,8% ao ano, atingindo 113 TWh em 2022. Portanto, o setor energético aumenta significativamente a sua participação no total da autoprodução de eletricidade.

A inclusão mais detalhada acerca da geração distribuída decorre da crescente importância que a mesma deverá desempenhar nos próximos anos. Conforme afirma o autor, o Brasil tem caminhado na direção de incentivar a penetração da geração distribuída de pequeno porte, por exemplo, com a Resolução Normativa (REN) nº 482/2012 da ANEEL, que, entre outras estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração, com até 100 kW de potência, e a minigeração distribuída, de 100 kW a 1 MW, aos sistemas de distribuição de energia elétrica,

além do sistema de compensação de energia elétrica. Que permite ao consumidor instalar pequenos geradores em sua unidade consumidora e trocar energia com a distribuidora local. As condições do regulamento são válidas para geradores que utilizem fontes incentivadas de energia: hídrica, solar, biomassa, eólica e cogeração qualificada conforme ANEEL.

Dentre as tecnologias de geração distribuída de grande e médio porte, tais como eólica e biomassa, temos a de pequeno porte onde se destaca a tecnologia baseada no aproveitamento solar fotovoltaico; o qual se apresenta um excelente potencial de penetração no horizonte decenal, dadas as iniciativas regulatórias recentes observadas no país, como a Medida Provisória nº 579 de 2012 e convertida na lei 12.783, que dispõe sobre a redução dos encargos setoriais e a modicidade tarifária, entre outros.

A implementação dessas tecnologias traz novas e desafiadoras questões para o setor energético, com a forma de remunerar eventuais excedentes e os impactos sobre a qualidade de energia. Particularmente os sistemas de energia eólica, que utilizam uma energia primária não armazenável, podem estar eventualmente conectados e devem ser despachados prioritariamente, constituindo, portanto um sistema de geração descentralizada bem definido.

4.7. REGULAÇÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL

4.7.1. Introdução

A legislação fundamental para promoção da geração distribuída no Brasil em bases racionais foi a Resolução ANEEL 21 de 2000, que estabelece regras de qualificação de cogeneradores com base em seu desempenho energético e potencial de economia de energia primária. Onde os parâmetros para qualificação de cogeneradores eram pela potência instalada (inferior a 5 MW, entre 5 e 20 MW e superior a 20 MW) e em função do combustível e tecnologia empregada.

A Lei nº 10.438 de abril de 2002, surgida para resolver questões associadas ao racionamento de eletricidade em 2001, tratou da criação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA.

Segundo BRIGHENTI (2003), as principais resoluções e decretos-leis relacionados à geração distribuída e a cogeração são:

Lei 9.074, de 20 de julho de 1995

Esta lei instituiu a figura do produtor independente de energia (PIE), e que também garante o livre acesso ao sistema de transmissão e distribuição, mediante ressarcimento do custo de transporte envolvido.

Decreto nº 2003, de 10 de dezembro de 1996

Este decreto regulamentou a produção de energia elétrica por autoprodutor e produtor independente de energia elétrica. Consta neste decreto a definição das condições de operação da termoeletrica e se a mesma está integrada ao sistema ou não. Uma termoeletrica é considerada interligada ao sistema quando ela opera em conjunto com outras termoeletricas, e sob a supervisão da ONS.

Lei nº 9.427, de 21 de dezembro de 1996

Institui a ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.

Decreto nº 2655 de 02/07/1998

Este decreto regulamenta o MAE - Mercado Atacadista de Energia e o ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico.

Resolução ANEEL nº 112, de 18 de maio de 1999

Esta resolução estabelece os requisitos necessários à obtenção de registro e autorização para a implantação, ampliação ou repotenciação de centrais geradoras termoeletricas, eólicas e biomassa.

Resoluções ANEEL nº 281, 282 e 286 de 01 de outubro de 1999

Estas resoluções estabelecem as condições gerais de contratação de acesso, compreendendo o uso e a conexão aos sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica e as tarifas de uso dos sistemas de distribuição de energia elétrica.

Resolução ANEEL nº 371 de 29 de dezembro de 1999

Esta resolução regimentou a contratação e comercialização de reserva de capacidade por autoprodutor ou produtor independente, para atendimento à unidade consumidora diretamente conectada às suas instalações de geração.

Resolução ANEEL nº 233, de 29 de julho de 1999

Esta resolução estipula valores normativos que limitam o repasse, para as tarifas de fornecimento, dos preços livremente negociados na aquisição de energia elétrica, por parte dos concessionários e permissionários.

Resolução ANEEL nº 021, de 21 de janeiro de 2000

Esta resolução definiu os requisitos à qualificação das centrais cogeradoras de energia.

Lei nº 10438, de 26 de abril de 2002

Esta lei cria o PROINFA, já citado no início deste capítulo, e a CDE – Conta de Desenvolvimento Energético e trata da universalização do atendimento.

Lei nº 10847 de 15 de março de 2004

Esta lei autoriza a criação da EPE – Empresa de Pesquisa Energética.

Lei nº 10848 de 15 de março de 2004

Esta lei orienta sobre a comercialização de energia elétrica e cita a figura do gerador distribuído.

Decreto nº 5163, de 30 de julho de 2004

Este decreto regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica. Este decreto delineou o mercado da ser atendido por tais geradores.

Decreto nº 5175, de 09 de agosto de 2004

Este decreto constitui o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico – CMSE.

Decreto nº 5177, de 12 de agosto de 2004

Este decreto estabelece a organização, atribuições e o funcionamento da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE.

Resolução ANEEL nº 328, de 12 de agosto de 2004

Esta resolução aprova o estatuto da ONS.

Decreto nº 5184, de 16 de agosto de 2004

Este decreto cria a EPE

Decreto nº 5249, de 20 de outubro de 2004

Este decreto regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de energia elétrica.

4.7.2. Decreto nº 5163 de 30 de Julho de 2004

A partir do decreto nº 5.163, a geração distribuída foi regulamentada e reconhecida na legislação do setor elétrico.

Segundo o Decreto:

“Art.14. Para os fins deste Decreto, considera-se geração distribuída a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes

concessionários, permissionários ou autorizados, (...), conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquele proveniente de empreendimento:

I - hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW;

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

“Os empreendimentos elétricos que utilizam biomassa ou resíduos (...) não estarão limitados ao percentual de eficiência energética prevista no inciso II (...)” (BRASIL, 2004).

De acordo com o decreto, pela legislação brasileira, projetos de geração de energia de até 30 MW, cogeração qualificada e qualquer geração elétrica que utilize fontes como biomassa, solares e resíduos sólidas serão consideradas Geração Distribuída.

4.7.3. Resolução Normativa nº 482, de 17 de Abril de 2012

Esta resolução estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

Segundo o decreto:

“Art. 1º Estabelecer as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.

Art. 2º Para efeitos desta Resolução, ficam adotadas as seguintes definições:

I - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW para fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

III - sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade da unidade consumidora onde os créditos foram gerados, desde que possua o mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda. (Redação dada pela REN ANEEL 517, de 11.12.2012).

Art. 3º As distribuidoras deverão adequar seus sistemas comerciais e elaborar ou revisar normas técnicas para tratar do acesso de microgeração e minigeração distribuída, utilizando como referência os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, as normas técnicas brasileiras e, de forma complementar, as normas internacionais.

§1º O prazo para a distribuidora efetuar as alterações de que trata o caput e publicar as referidas normas técnicas em seu endereço eletrônico é de 240 (duzentos e quarenta) dias, contados da publicação desta Resolução.

§2º Após o prazo do § 1º, a distribuidora deverá atender às solicitações de acesso para microgeradores e minigeradores distribuídos nos termos da Seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST.” (BRASIL, 2012)

Para compensação de energia elétrica, segundo a resolução, a energia ativa injetada no sistema de distribuição pela unidade consumidora, será cedida a título de empréstimo gratuito para a distribuidora, passando a unidade consumidora a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida em um prazo de 36 meses. Lembrando que consumo de energia elétrica ativa a ser faturado é a diferença entre a energia consumida e a injetada.

A resolução estipula que os custos referentes à adequação do sistema de medição, necessário para implantar o sistema de compensação de energia elétrica, são de responsabilidade do interessado.

5. ASPECTOS DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

5.1. INTRODUÇÃO

Do ponto de vista da infraestrutura, o desenvolvimento do país geralmente pode ser caracterizado com uma avaliação na facilidade de acesso da população aos serviços de saneamento básico, transportes, telecomunicações e principalmente energia. No que tange aos aspectos energéticos temos o desenvolvimento tecnológico que visa atingir maior qualidade e eficiência tanto na produção quanto na aplicação dos recursos energéticos.

Segundo ANEEL (2008), a chamada indústria da energia está contida em uma cadeia econômica que tem início com a exploração de recursos naturais estratégicos, tais como água, minerais, petróleo e gás natural; de propriedade da União; e que termina no fornecimento de um serviço público básico para a sociedade. Por isso, no geral, ou é composta por estatais ou por companhias controladas pelo capital privado que atuam em um ambiente regulamentado pelos governos locais.

Conforme abordado no capítulo anterior, onde foi descrito o setor energético brasileiro, que possui uma matriz energética de geração de energia elétrica baseada em sua grande maioria por hidrelétricas e um excelente potencial para crescimento da geração distribuída, principalmente por fontes renováveis de energia; o setor elétrico encontra-se em um cenário complexo e conflitante de caminhos a serem seguidos para sua expansão. É possível mapear todos os principais aspectos de sustentabilidade que englobam tanto a geração através de grandes hidrelétricas, quanto através da geração distribuída e poder confrontá-los.

A sustentabilidade deriva do termo de crescimento ou desenvolvimento sustentável e que, resumidamente, significa o desenvolvimento duradouro, com continuidade, a fim de desenvolver a geração atual, garantindo o desenvolvimento das gerações futuras. É formado por uma infinidade de fatores determinantes, mas cujo andamento depende, justamente, da presença de um horizonte estratégico entre seus protagonistas decisivos. É apoiada em quatro importantes pilares que se inter-relacionam: tecnológico, econômico, ambiental e político social.

A partir dos quatro importantes pilares foram mapeados os principais e relevantes aspectos favoráveis e desfavoráveis da geração de energia elétrica através de grandes centrais hidrelétricas e através da geração distribuída.

5.2. ASPECTOS TECNOLÓGICOS

5.2.1. Modelos de Geração de Energia

Objetivando descrever os dois modelos de geração de energia elétrica: geração centralizada (GC) e geração distribuída (GD), seguem-se duas ilustrações que representam modelos simplificados de sistemas baseados em geração centralizada, e em sistemas mistos com geração distribuída. A ilustração 5 caracteriza-se um sistema convencional baseado em usinas geradoras de energia elétrica centralizadas e de grande porte que atendem a grandes conjuntos de carga e se ligam a estas por extensas linhas de transmissão que posteriormente distribuem a energia em níveis de tensão menores para consumidores comerciais, industriais e residenciais.

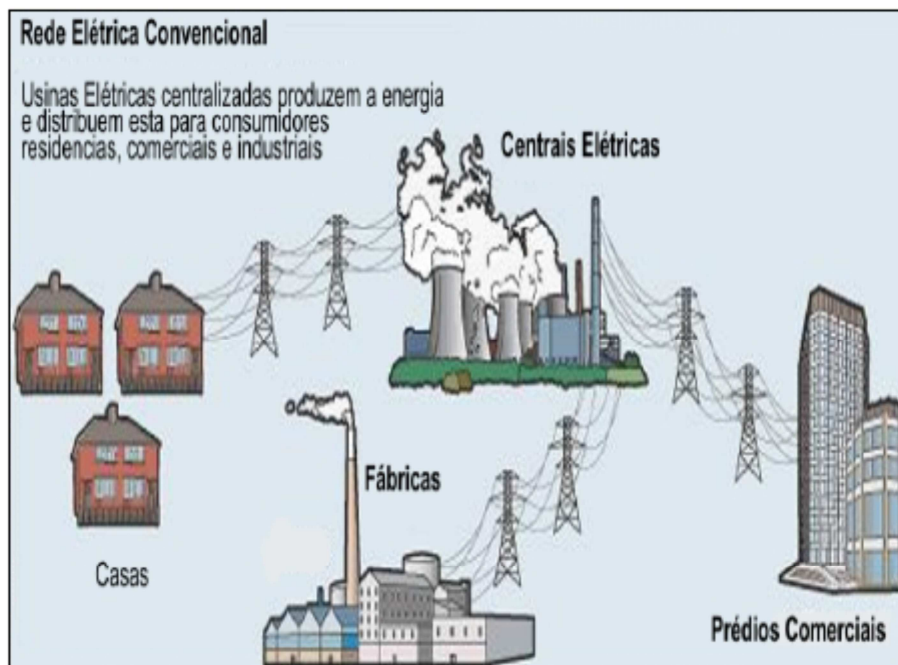


Ilustração 5 – Modelo de Geração de Energia Elétrica Convencional (Centralizada)

Fonte: The Economist;

A ilustração 6 demonstra geradores de energia elétrica de menor porte, localizados próximo da carga e em maior quantidade numérica. Alguns casos podem realizar cogeração, para os casos de geradores térmicos e geradores de energia elétrica.

No modelo de geração distribuída, um leque de diversas tecnologias para diversas faixas de potência para o atendimento da demanda de energia. Como foi abordado no capítulo anterior, existem diversas tecnologias que estão inseridas no conjunto da geração distribuída, ora com combustíveis fósseis, ora com fontes renováveis, com diferentes estágios de desenvolvimento tecnológico. Nestes sistemas com tecnologias mais recentes, seja pela sua baixa disponibilidade, eficiência ou ausência momentânea dos recursos naturais, (vento, sol, etc.) faz-se necessário o uso combinado com sistemas de armazenamento (baterias, flywheels) de modo a potencializar sua capacidade de atendimento da demanda de energia.

A partir deste modelo, fazem-se necessários equipamentos de monitoramento, automação e controle, através de centros de operação do sistema, pois os pequenos geradores, quando interligados a uma rede, precisam seguir procedimentos sistêmicos e requisitos técnicos e regulatórios.

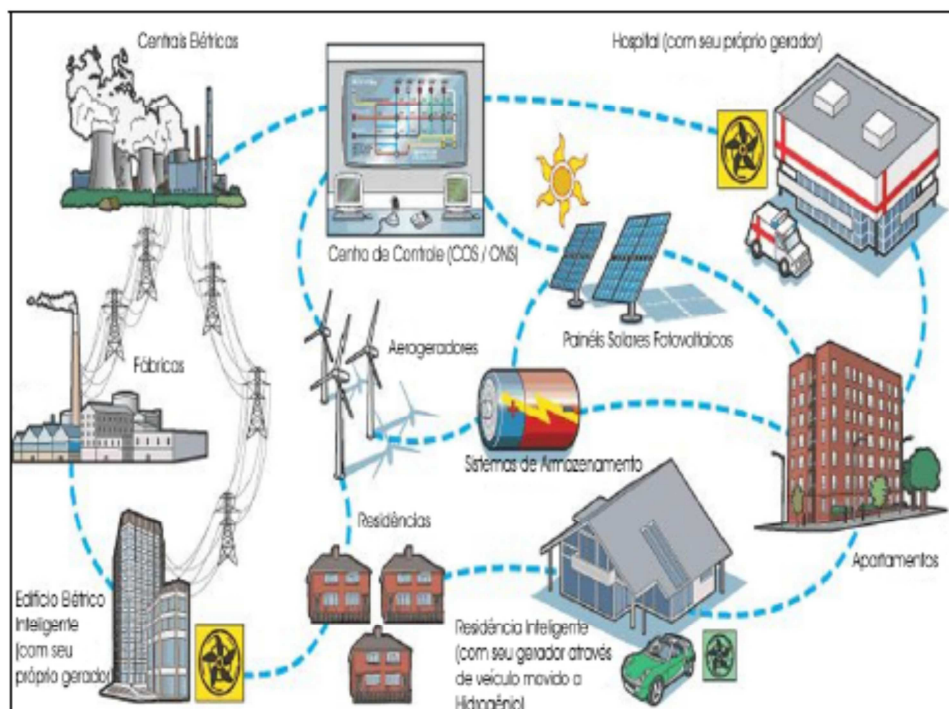


Ilustração 6 – Geração Distribuída, Sistemas de Armazenamento e Operação

Fonte: The Economist;

Benefícios da GD

A geração distribuída pode gerar alguns benefícios ao sistema interligado brasileiro (SIN), tais como:

- Maior flexibilidade operativa em função da redução do carregamento da rede;
- Substancial melhora no perfil de tensão dos ramais;
- A operação conjugada entre GC e GD proporciona maior eficiência energética;
- Caso a geração distribuída seja feita através de geradores síncronos de porte considerável, pode acarretar um aumento da estabilidade do sistema;
- Controle de frequência, reserva de potência e auto restabelecimento ou capacidade de *black-start* ou ilhamento.

Razões para GD

Segundo LAI e CHAN (2007), a GD pode ser aplicada de diversas formas e alguns exemplos estão listados abaixo:

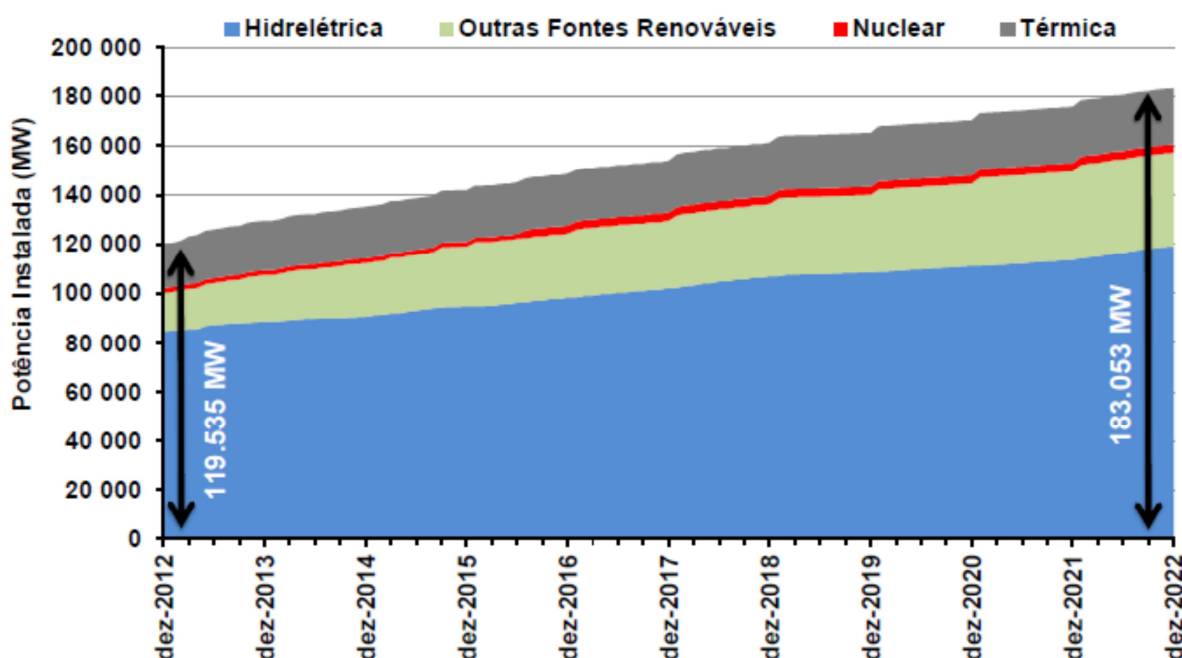
- Pode ser uma alternativa mais econômica do que prover uma linha de transmissão para locais remotos;
- Pode prover energia elétrica de base, de *backup* (reserva) e de pico;
- Pode prover energia de reserva em caso de surtos, falhas e paradas para manutenção da rede elétrica;
- Para cogeração, onde o calor desperdiçado pode ser utilizado para aquecimento, resfriamento ou como vapor. Tradicionalmente o uso inclui facilidades industriais com grande demanda de vapor e potencia, tais como hospitais e universidades;
- Para fornecimento de carga reativa e controle de tensão de geração por injeção e absorção de potencia reativa no controle da grade de tensão;
- Para estabilidade da rede através de equipamentos de resposta rápida que mantem um sistema seguro de transmissão.

5.2.2. Suprimento da Demanda e Armazenamento de Energia Elétrica

No que tange a capacidade de geração e suprimento da demanda, considerando as tecnologias disponíveis atualmente, as grandes hidrelétricas são capazes de atender a maior parte da demanda de energia elétrica prevista para os próximos anos.

O gráfico a seguir demonstra o crescimento das principais fontes geradoras de energia elétrica necessária para o atendimento da demanda de energia planejada para um horizonte até o ano de 2022 no Brasil.

Ilustração 7 – Gráfico da Evolução da Capacidade Instalada no SIN



Fonte: EPE (2013)

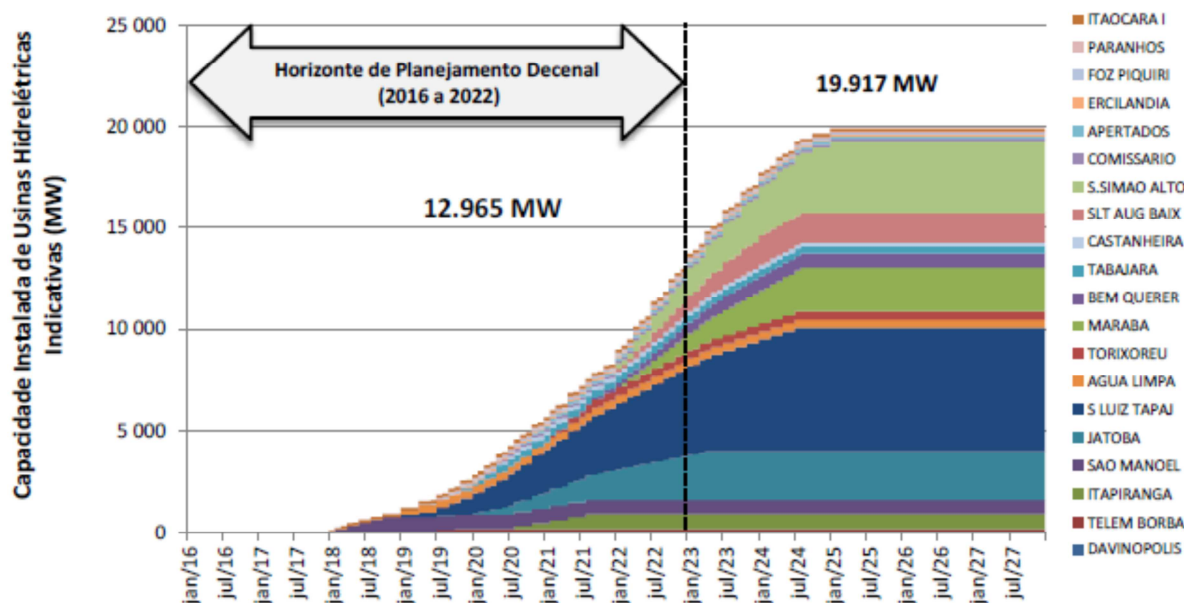
De acordo com o EPE (2013), os projetos hidrelétricos que compõe o parque gerador no decênio que se encerra em 2022, somam 19.917 MW. No entanto, devido ao longo período de construção de alguns empreendimentos de grande porte, esta capacidade total deverá estar disponível para atendimento ao SIN somente no ano de 2025, acrescentando 12.965 MW até dezembro de 2022.

Ainda conforme o autor, a capacidade de geração hidráulica, considerando a estimativa de contratação da UHE Itaipu, aumentará de 85 GW para 119 GW, aproximadamente, de 2013 até 2022. Na região Norte é onde ocorrerá a maior expansão hidrelétrica, devido à entrada em operação de grandes empreendimentos,

com destaque para a usina hidrelétrica de Belo Monte, cuja motorização deve levar três anos com a entrada em operação de 6 máquinas de 611,1 MW por ano.

O gráfico a seguir demonstra a previsão de evolução da capacidade instalada dos projetos hidrelétricos previstos no planejamento da EPE.

Ilustração 8 – Gráfico da Evolução da Capacidade Instalada de Hidrelétricas no Brasil



Fonte: EPE (2013)

Entretanto, limitadas pela sazonalidade das chuvas e capacidade de atendimento nos períodos de estiagem, faz-se necessário à complementação da base energética com fontes termelétricas e nucleares. A geração distribuída poderia atuar de forma a complementar a matriz de energia, prioritariamente através de fontes renováveis, principalmente durante os períodos secos que coincidem com os períodos de maior produção de energia eólica, solar e de biomassa (safra de cana-de-açúcar); de modo a minimizar a utilização das termelétricas que, obviamente, provocam um maior impacto negativo as contas dos consumidores de energia e ao meio ambiente.

De acordo com a EPE (2013), existe a complementaridade e sazonalidade das vazões afluentes aos empreendimentos hidrelétricos, destacando-se os regimes hidrológicos do Sul que tendem a ser mais favoráveis no período de junho a outubro (a exemplo da usina de Itaipiranga), sendo complementares às usinas do Sudeste/Centro-Oeste. Nas bacias da região amazônica também são constatadas complementaridades, tais como entre as usinas de Marabá e Bem Querer, situadas,

respectivamente, à margem direita e esquerda do Rio Amazonas. A usina hidrelétrica de Marabá possui grandes cheias nos meses de março e abril, e período seco com vazões muito baixas, enquanto que a UHE Bem Querer possui vazões máximas de junho a agosto.

Ainda conforme o autor, por meio da análise das energias afluentes verificadas desde 1931 em cada subsistema, pode-se constata-se a incerteza hidrológica e sua variação entre os períodos úmidos e secos, a complementaridade entre regiões, a necessidade de reforços nas interligações e a possibilidade de ganho energético advindo da regularização das vazões propiciada quando se dispõe de reservatórios de acumulação. Esses reservatórios, além de regularizarem as vazões, trazem outros importantes benefícios como o controle de cheias para proteger as comunidades e os bens a jusante, o aumento da piscicultura, o efetivo controle da qualidade da água dos rios e, um dos mais importantes do ponto de vista elétrico e ambiental, o funcionamento como estoque de energia para as outras fontes renováveis como a eólica, a biomassa e a solar, que não geram energia de forma constante.

Quando a geração dessas fontes se reduz, seja por falta de vento, no caso das eólicas, na entressafra da biomassa, ou por baixa incidência de energia solar, a energia armazenada nos reservatórios permite que se aumente a geração hidráulica, colocando no mercado o montante anteriormente produzido. Essa é uma vantagem ímpar que o Brasil possui, em relação a outros países, os quais, não possuindo área para implantar reservatórios, fazem essa mesma operação com usinas que utilizam combustíveis fósseis, aumentando a emissão de gases de efeito estufa.

No que tange a capacidade de regularização dos reservatórios, pode-se destacar a importância dos grandes reservatórios instalados na região Sudeste/Centro-Oeste, que representam aproximadamente 70% do SIN no início de 2013, enquanto as regiões Nordeste, Sul e Norte possuem, respectivamente, 18%, 7% e 5% da capacidade de energia armazenável máxima do Brasil, conforme descreve o autor.

Se for analisada a previsão de capacidade de armazenamento dos reservatórios ao final do ano de 2022, objeto deste plano da EPE, obtém-se a indicação que a elevação de 2% é bem inferior ao aumento da capacidade instalada de usinas hidrelétricas, de 40%.

Concluindo, uma parte da oferta hidrelétrica constante desta configuração agrega energia armazenável por adicionar produtividade em cascatas que já possuem reservatórios de regularização. Entretanto, a maioria das usinas viáveis no horizonte decenal está localizada em bacias ainda inexploradas, para as quais não há previsão de instalação de usinas com reservatórios de regularização das vazões afluentes. Portanto, devido às dificuldades na obtenção de licenças ambientais há indicação de apenas quatro usinas hidrelétricas com reservatórios de acumulação a montante, para as quais, estima-se que, os prazos envolvidos no processo licitatório estão aderentes ao horizonte do PDE 2022, conforme citado pelo autor.

Atualmente, grande parte das usinas viabilizadas deve operar a “fio d’ água”, ou seja, toda vazão afluente deve ser turbinada ou vertida, não havendo condições de armazená-la. Esta configuração do sistema gera consequências diversas, dentre as quais: a impossibilidade de controle de cheias; maior exigência das atuais usinas do sistema com capacidade de regularização, gerando grandes alterações de nível dos reservatórios ao longo de curtos ciclos hidrológicos (o que muitas vezes não é possível em função de restrições operativas hidráulicas); e maior despacho térmico para atender às exigências sazonais da carga, que não poderão ser atendidas pelo armazenamento hidráulico que é sem dúvida nenhuma o diferencial desta fonte.

No que tange o armazenamento de energia para geração distribuída, alternativa seria a utilização de baterias que já é adotada para sistemas isolados que não estão conectados à rede de distribuição ou para sistemas que estão conectados, mas não podem sofrer a parada de fornecimento. Contudo, não é muito usual a utilização de baterias para as instalações de micro e mini geração para o sistema de compensação energética.

Unidades de GD podem ter índices de confiabilidade extremamente elevados e podem suprir o consumidor com energia de qualidade no que se refere à tensão, frequência e minimização de harmônicas.

5.2.3. Linhas de Transmissão e Interconexão da GD

Conforme abordado anteriormente, o sistema integrado de transmissão de energia elétrica potencializa a geração e minimiza os custos de geração de energia, entretanto, é também importante ressaltar que o mesmo proporciona perdas em função da transmissão de energia elétrica. De acordo com o EPE (2013), o índice de

perdas do SIN em 2013 era de 17,3%. Está previsto uma redução nestas perdas e planeja-se ficar em 16,0% em 2022.

Além das perdas elétricas em função das extensas linhas de transmissão (LT) cortando quilômetros e mais quilômetros do território brasileiro, temos que contemplar os riscos técnicos destas LTs por falha ou sabotagem e também as perdas após essas linhas de transmissão através das redes elétricas das distribuidoras e através dos equipamentos de manutenção e operação destas redes elétricas, subestações; até esta energia estar disponível na porta do consumidor.



Ilustração 9 - Linha de Transmissão

Fonte: Curso Interno da VOITH HYDRO.

A geração distribuída oferece a vantagem de suprir a demanda de energia próxima aos locais de consumo, minimizando perdas nas linhas de transmissão e distribuição, maior estabilidade à tensão elétrica, perdas reativas de potência e adiamento de investimentos em subestações de transformação e em capacidade adicional para transmissão.

Conforme abordado anteriormente, o planejamento de expansão de geração de energia no Brasil se dará basicamente na região Norte que está localizada longe dos principais centros consumidores de energia localizados nas Regiões Sudeste e Sul. Este cenário é desvantajoso no que diz respeito às perdas elétricas pela transmissão e riscos de blackout.

A interconexão de sistemas descentralizados de geração de energia à rede elétrica exige um aumento da complexidade administrativa, comercial e contratual.

Pode produzir distorção harmônica na tensão da linha, incremento da carga reativa do alimentador e variações ou flutuações de tensão. A distorção de corrente harmônica tem algumas consequências negativas para os equipamentos de transmissão e distribuição, bem como para os usuários da rede. A magnitude da distorção de tensão depende da impedância do sistema às frequências em questão e da magnitude das correntes harmônicas.

De acordo com WILLIS & SCOTT (2000), a qualidade de energia no que se refere ao controle da frequência, caso a entrada de GD vinda de produtores independentes não seja cuidadosamente planejada, o operador do sistema pode vir a ter mais dificuldade para prover este serviço ancilar, prejudicando a eficiência das unidades geradoras e nas emissões de poluentes. As unidades de GD, quando não são utilizadas para suporte de tensão em ramais com sobtensão, podem trazer problemas, principalmente devido ao efeito contrário, as sobretensões.

5.2.4. Estado da Arte

Com um grande acervo de estudos e históricos hidrológicos confiáveis, estruturas civis e equipamentos eletromecânicos de ponta, e um parque industrial consolidado para fornecimento; pode-se afirmar que a tecnologia presente na construção e montagem dos grandes projetos hidrelétricos encontra-se no “estado da arte” atualmente.

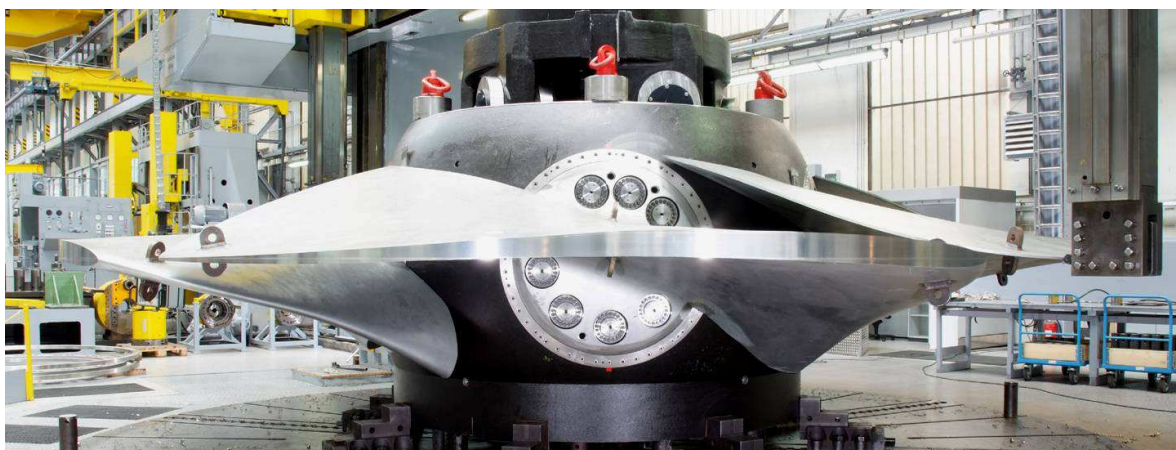


Ilustração 10 - Foto da Fabricação de um Rotor Kaplan

Fonte: Curso Interno da VOITH HYDRO.

A tecnologia de geração distribuída encontra-se em franco desenvolvimento e ainda requer grandes esforços de aprimoramento em diversos aspectos,

principalmente no que diz respeito à capacidade de geração, vida útil dos equipamentos e ampla rede de fabricantes dos principais componentes disponíveis no Brasil. Entende-se também, para algumas tecnologias de geração distribuída ainda há uma necessidade de dados mais abrangentes para dimensionamento de sistemas, tais como, incidência solares e velocidades dos ventos por exemplo.

Do ponto de vista tecnológico, existem ainda muitas tecnologias para geração distribuída com pouca maturidade e podem apresentar elevados custos de implantação ou baixos índices de confiabilidade.

Painéis fotovoltaicos em escala comercial ainda possuem baixas eficiências. Tecnologias de silício monocristalino com eficiências acima de 24% ainda é raro. As tecnologias de *Multijunction* que alcançam 42% ainda são muito caras e existem barreiras como a temperatura. As promessas de tecnologias mais baratas como as tecnologias emergentes orgânicas ainda tem um longo caminho de maturação e desenvolvimento científico devido a baixa eficiência em torno de 8%. O desenvolvimento tecnológico passa pelo incentivo e ressuscitação da indústria eletro eletrônica no Brasil com desenvolvimento e purificação do silício.

5.2.5. Sistemas Híbridos

Conforme LORA e ADDAD (2006), no Brasil existem mais de 400 sistemas isolados de grande porte e inúmeros sistemas pequenos que utilizam óleo diesel como fonte geradora de energia. Foi demonstrado que sistemas híbridos de energia, isto é, sistemas autônomos de geração elétrica que combinam fontes de energia renovável e geradores convencionais, podem representar uma solução mais econômica para muitas aplicações e também proporcionar uma fonte mais segura de eletricidade devido à combinação de diversas fontes de energia e reduzir a poluição ambiental em função da queima, armazenamento e transporte de óleo diesel.

Um exemplo de sistema híbrido eólico/diesel de grande porte instalado no Brasil é o sistema da Ilha de Fernando de Noronha. A geração diesel da ilha tem uma capacidade instalada de aproximadamente 2 MW com 2 grupos geradores de 350 kVA 3 de 450 kVA. Duas turbinas eólicas de 75 kW e 225 kW de potência nominal, estão conectadas à rede elétrica formando um sistema integrado. A energia gerada através dos ventos suprem 25% da demanda da ilha (ANEEL, 2008).

Grandes centrais fotovoltaicas têm sido instaladas como uma alternativa à geração centralizada de energia produzida através de combustíveis fósseis ou alternativa ao consumo de energia a rede elétrica, aumentando a segurança de suprimento em eventuais falhas da rede por surtos ou blackouts. Estas EFCR (Edificações Solares Conectadas à Rede) possuem a fachada ou teto como suporte aos geradores fotovoltaicos. Com o inversor, a energia produzida, inicialmente sob tensão e corrente contínua, passa a ser fornecida em tensão e corrente alternada, podendo ser inserida diretamente na rede de distribuição de eletricidade ou utilizada em qualquer equipamento elétrico instalado na edificação. A principal característica no que tange à operação destas instalações está no fato de estas serem instaladas para operar em paralelo com a fonte geradora de energia ou com rede de distribuição de eletricidade.

5.2.6. Conexão da GD com a Rede de Distribuição

PRODIST

Os Procedimentos de Distribuição - PRODIST são normas que disciplinam o relacionamento entre as distribuidoras de energia elétrica e demais agentes (unidades consumidoras e centrais geradores) conectados aos sistemas de distribuição, que incluem redes e linhas em tensão inferior a 230 quilovolts (kV). Tratam, também, do relacionamento entre as distribuidoras e a ANEEL, no que diz respeito ao intercâmbio de informações.

Os principais objetivos do PRODIST são:

- a) garantir que os sistemas de distribuição operem com segurança, eficiência, qualidade e confiabilidade;
- b) propiciar o acesso aos sistemas de distribuição, assegurando tratamento não discriminatório entre agentes;
- c) disciplinar os procedimentos técnicos para as atividades relacionadas ao planejamento da expansão, à operação dos sistemas de distribuição, à medição e à qualidade da energia elétrica;
- d) estabelecer requisitos para os intercâmbios de informações entre os agentes setoriais;
- e) assegurar o fluxo de informações adequadas à ANEEL;

f) disciplinar os requisitos técnicos na interface com a Rede Básica, complementando de forma harmônica os Procedimentos de Rede.

Balanceamento das fases

A qualidade da energia elétrica fornecida é uma das maiores preocupações da conexão da GD com a rede de distribuição. Para garantir que a conexão seja a melhor possível são necessários testes e análises de diversos parâmetros que visam resguardar tanto a segurança da instalação quanto o fornecimento de uma energia limpa e confiável, que nos padrões nacionais devem atender principalmente a norma IEEE 1547.1 - "*IEEE Standard for Conformance Test Procedures for Equipment Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems*", o Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição da ANEEL e o Submódulo 2.2 dos Padrões de Desempenho da Rede Básica do ONS.

Caso o balanceamento da rede seja feito de forma errada e várias fontes de GD monofásicas venham a ser instaladas em uma única fase do sistema pode ocorrer a sobrecarga nesta fase e causar sérios problemas para os consumidores. Mesmo com as considerações de fornecimento que a ANEEL exige podem ocorrer danos caso as concessionárias não tenham certos cuidados no momento para a aprovação destas novas instalações.

De um modo geral, os geradores síncronos quando conectados ao sistema de distribuição operam sob o fator de potência constante ou sob o controle de potência reativa constante. As de baixa potência não apresentam boa capacidade para controle de tensão quando em modo *grid connected* (conexões da rede de forma bidirecional e sincronizada entre a GD e a rede de distribuição), pois competem entre si pela regulação de tensão.

Ilhamento

A unidade de GD deve ser capaz de desconectar do sistema sempre que houver problemas ou transitórios que possam comprometer tanto o sistema quanto a mesma.

Quando ocorre o desligamento da rede e caso a proteção da GD não atue efetivamente, pode ocorrer o fenômeno de ilhamento onde a GD passa a alimentar o sistema remanescente com a potência que está programada. Isso pode gerar acidentes graves para um eletricitista que vai fazer a manutenção, acreditando que o sistema está desenergizado, ficando submetido a tensões e correntes potencialmente perigosas.

Redimensionamento de Condutores

Outra característica do sistema é a redução gradual da bitola dos condutores ao longo do alimentador. Para se escolher o local ideal para alocação da fonte de GD se deve ter em mente que, para alguns casos, um recondutoramento pode ser necessário. Isto é, se houver a intenção de exportar os excedentes de energia para o sistema. A injeção de potência em dado ponto do sistema pode ser nocivo uma vez que o condutor local pode não ser adequado para permitir um fluxo de potencia maior que aquele verificado antes da alocação da fonte.

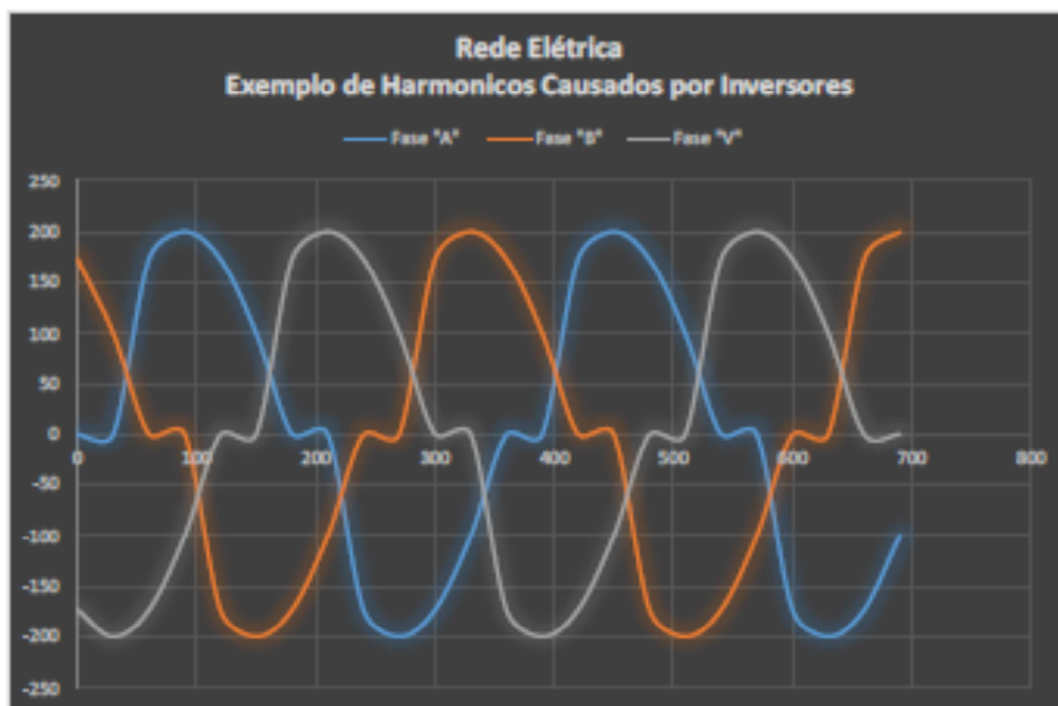
Harmônicos

As distorções harmônicas são problemas referente a deformação que o formato das formas de ondas das tensões e das correntes sofrem quando comparamos com a forma senoidal.

A introdução de harmônicos produzida principalmente pelo inversor (dispositivo de carga não linear) que as instalações fotovoltaicas injetam no sistema pode ser considerada um problema para a conexão com a rede. Isso ocorre por que a energia elétrica gerada pela energia solar, por exemplo, é em corrente contínua.

O gráfico abaixo ilustra uma forma de onda gerada por um inversor.

Ilustração 11 – Gráfico de Harmônicos Causados por Inversores



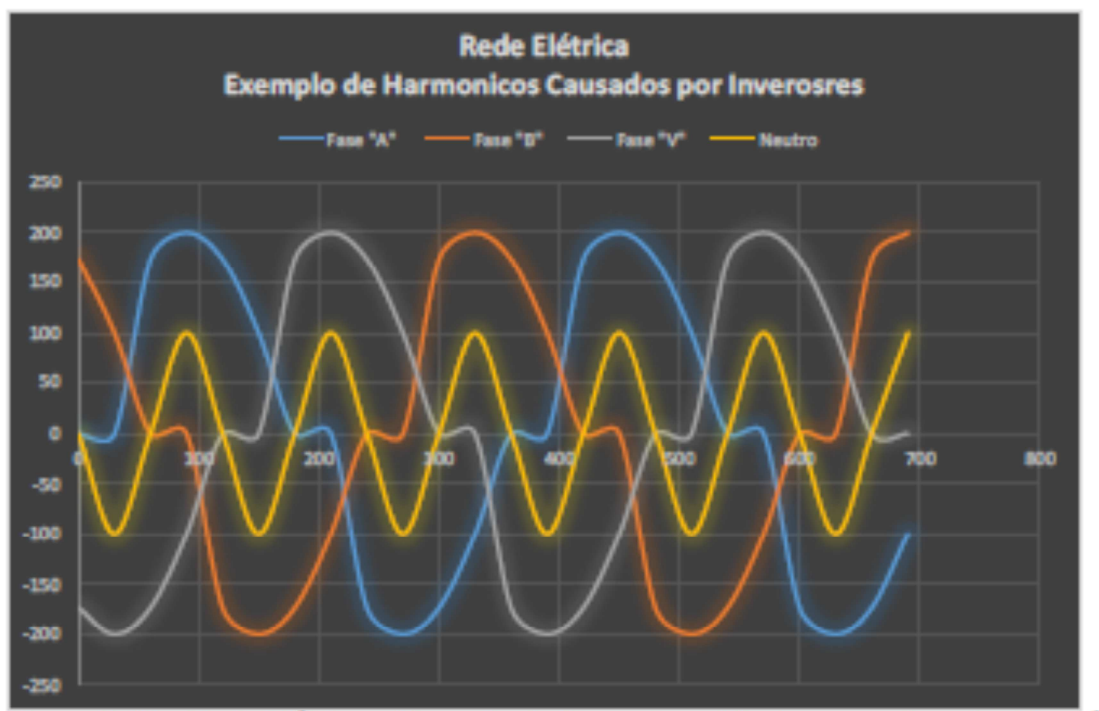
Fonte: DE ZORZI (2013)

Esta introdução de harmônicos no sistema de distribuição pode apresentar alguns problemas sérios na qualidade da energia e na segurança da rede, tais como:

- Sobreaquecimento nos motores, transformadores e nos condutores do neutro;
- Disparo de dispositivos de segurança;
- Ressonância;
- Vibrações;
- Aumento da queda de tensão;
- Redução do fator de potência.

Um banco de reatores pode ajudar a corrigir efeito dos harmônicos e não causando a ressonância.

Ilustração 12 - Gráfico da Corrente no Neutro Causada pelos Harmônicos



Fonte: DE ZORZI (2013)

A figura anterior ilustra os formatos das ondas nas três fases, contudo caso seja introduzido a curva do neutro percebe-se a existência de uma corrente considerável circulando pelo condutor no momento em que ocorre o desligamento das chaves.

5.2.7. *Smart Grid* e a Mudança de Paradigma

Conforme abordado no capítulo anterior, o modelo de sistema de energia elétrica brasileiro propõe o fornecimento de geração de energia através de grandes centrais geradoras de energia elétrica e transmissão de energia através de longas linhas percorrendo o território brasileiro de modo a atender a demanda. Durante quase um século, os sistemas de energia elétrica cresceram e evoluíram tecnologicamente e dentro deste paradigma, centrais geradoras ficaram cada vez maiores e os sistemas de transmissão elevaram sua tensão nominal, para atender as grandes distâncias e os grandes blocos de potência transmitidos.

Uma primeira alteração de paradigma iniciou-se no final do século passado com a introdução do conceito de produtor independente, para acomodar a vantagem econômica de novos equipamentos de geração, que evoluiu para propostas de reestruturações completas do setor elétrico, as quais foram implementadas em vários países, com maior ou menor intensidade.

O processo de reestruturação do setor elétrico apresenta-se como irreversível na maioria de suas modificações, nas novas tecnologias de geração distribuída e eficiência energética, principalmente na questão de segurança do sistema, pois *blackouts* de grandes proporções ainda continuam acontecendo.

Dentro deste contexto, abre-se espaço para introdução de mudanças de natureza tecnológica, estrutural e regulatória, que têm o potencial para uma nova alteração do paradigma. Desta forma surgem as chamadas redes elétricas inteligentes ou *Smart Grid* (SG) que objetivam otimizar a produção, distribuição e o consumo de energia, levando em conta a necessidade de tornar o sistema de entrega de energia mais interativo e viabilizando a entrada de novas fontes geradoras descentralizadas, renováveis e intermitentes.

O conceito de SG proporciona melhorias significativas em monitoramento, gestão, automação e qualidade da energia ofertada, através de uma rede elétrica caracterizada pelo uso intensivo das tecnologias de informação e comunicação.

Conforme AMIN e WOLLENBERG (2005), o termo *Smart Grid* foi definido como: “uma infraestrutura de rede elétrica em larga escala caracterizada por segurança, agilidade e resiliência / robustez que enfrenta novas ameaças e condições não previstas”.

Algumas das características geralmente atribuídas a SG são:

- Auto-recuperação: capacidade de automaticamente detectar, analisar, responder e restaurar falhas na rede;
- Influência do lado do consumidor: consumidor influencia os processos de planejamento e operação da rede;
- Tolerância a Ataques Externos: capacidade de mitigar e resistir a ataques físicos e cyber-ataques;
- Qualidade de Energia: prover energia com a qualidade exigida pela sociedade digital;
- Acomodar uma Grande Variedade de Fontes e Demandas: capacidade de integrar de forma transparente (*plug and play*) uma variedade de fontes de energia de várias dimensões e tecnologia;
- Reduzir o impacto ambiental do sistema produtor de eletricidade: reduzindo perdas e utilizando fontes de baixo impacto ambiental;
- Viabilizar e beneficiar-se de mercados competitivos de energia: favorecer o mercado varejista e a microgeração;
- Redução de perdas elétricas;
- Redução de inadimplência;
- Gerenciamento pelo lado da demanda.

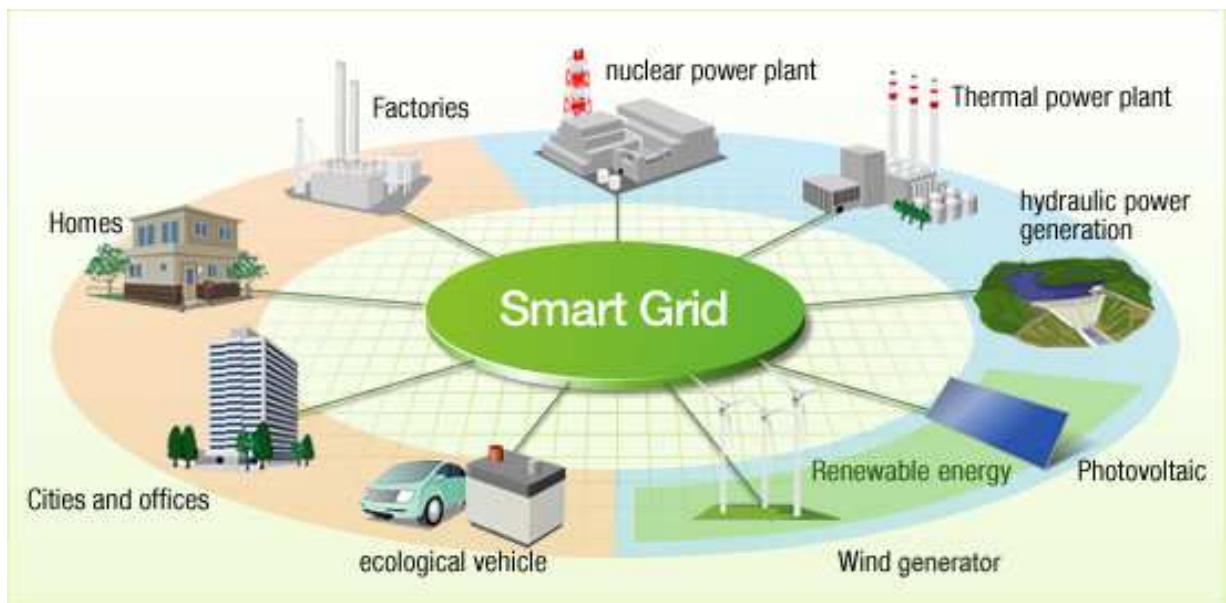


Ilustração 13– Concepção de Smart Grid

Fonte: Portal da Hitachi –acesso em 12/11/2014

<<http://www.hitachi.com/environment/showcase/solution/energy/smartgrid.html>>

A implantação de SG é um processo gradativo e específico de cada rede. O conceito de SG está em diversos estágios de implantação e motivação no mundo. Nos EUA e em vários países da Europa, as principais motivações são a possibilidade de maior inserção de fontes de energia renováveis, segurança da rede, confiabilidade e disponibilidade.

No Brasil, em 2012, a ANEEL aprovou o regulamento dos medidores inteligentes, peça chave para implantação de SG, onde estipulou o prazo de 18 meses para que as distribuidoras de energia elétrica substituíssem todos os 63 milhões de medidores instalados. Como benefício, abrem-se condições para disseminação da microgeração distribuída. Entretanto, atualmente, não existe uma SG consolidada no Brasil, peça chave da expansão da geração distribuída.

5.2.8. Cogeração

Processos produtivos que desenvolvem a queima de um combustível tal como os derivados de petróleo, gás natural, carvão ou biomassa podem empregar a geração distribuída através da cogeração, onde se desenvolve a energia térmica (calor de processo e/ou frio) que será utilizado para geração de energia elétrica.

A geração distribuída de energia elétrica através da cogeração é uma das alternativas mais eficazes para utilização racional da energia primária rejeitada no ciclo térmico, conseqüentemente, minimização dos impactos ambientais associados ao processo de conversão de energia.

Conforme LORA e ADDAD (2006), outros fatores têm influenciado sensivelmente o emprego à cogeração, por exemplo: a eficiência média das plantas térmicas convencionais já atingem os patamares tecnológicos dados pelos materiais empregados.

A redução das emissões de CO₂ mediante o aumento das eficiências de utilização dos combustíveis fósseis também podem ser obtidos através da cogeração.

De uma forma geral os principais benefícios nos principais aspectos da geração distribuída empregada em sistemas de cogeração são:

Aproveitamento do calor residual

O aproveitamento do calor gerado traduz-se numa melhoria significativa da eficiência, relativamente às centrais termoelétricas convencionais.

A eficiência global de uma central tradicional não supera os 40% e cerca de dois terços da energia primária utilizada para produzir eletricidade, neste tipo de instalações, é desperdiçada sob a forma de calor residual. Um sistema de cogeração atinge valores de 80% de eficiência superior.

Economia de Energia Primária

A considerável melhoria dos valores de eficiência em função do emprego da cogeração conduz a uma poupança significativa, em termos de energia primária.

A implementação bem sucedida de sistemas de cogeração promove reduções de, aproximadamente, 25% no consumo de combustível, em comparação com os sistemas de produção separada de calor e eletricidade.

Redução das perdas de Transporte e Distribuição

A cogeração permite uma redução considerável das perdas de transporte que se verificam nas linhas que ligam as grandes centrais aos centros de consumo, pois se evitam as mesmas. Adicionalmente, podendo a eletricidade produzida em cogeração ser consumida pelas próprias instalações, conseqüentemente diminuem-se também toda a infraestrutura necessária para transmissão da energia elétrica e conseqüentemente, as perdas nas linhas de distribuição.

5.2.9. Balanço do Planejamento Brasileiro

De acordo com EPE (2013), por meio da análise das energias afluentes, obtém-se a incerteza hidrológica e sua variação entre os períodos úmidos e secos, a complementaridade entre regiões, a necessidade de reforços nas interligações e a possibilidade de ganho energético advindo da regularização das vazões propiciada quando se dispõe de reservatórios de acumulação. Tais reservatórios, além de regularizarem as vazões, trazem outros importantes benefícios como o controle de cheias para proteger as comunidades e os bens a jusante, o aumento da piscicultura, o efetivo controle da qualidade da água dos rios e, um dos mais importantes do ponto de vista elétrico e ambiental, o funcionamento como estoque de energia para as outras fontes renováveis como a eólica, a biomassa e a solar, que não geram energia de forma constante.

Quando a geração dessas fontes renováveis se reduz, seja por falta de vento, no caso das eólicas, na entressafra da biomassa ou por baixa incidência de energia

solar, a energia armazenada nos reservatórios permite que se aumente a geração hidráulica, colocando no mercado o montante anteriormente produzido.

Neste aspecto, a geração hidrelétrica apresenta uma vantagem ímpar para o Brasil em relação a outros países, os quais, não possuindo área para implantar reservatórios, fazem essa mesma operação com usinas que utilizam combustíveis fósseis, aumentando a emissão de gases de efeito estufa.

Entretanto para as usinas hidrelétricas viabilizadas no último plano decenal da EPE, optou-se pelas usinas do tipo “fio d’ água”, ou seja, toda vazão afluenta deve ser turbinada ou vertida, não havendo condições de armazená-la.

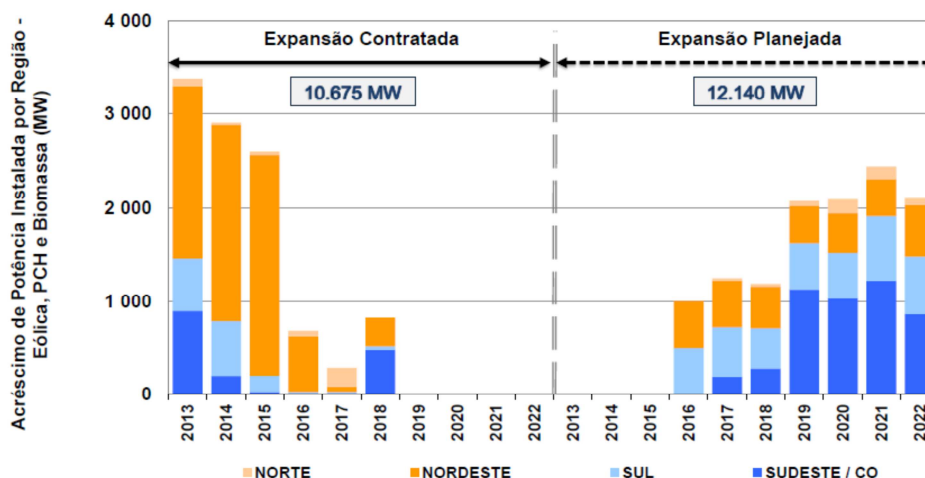
Embora essa opção seja mais aceitável do ponto de vista ambiental, ela minimiza o potencial hidráulico da usina, limita a queda e a capacidade de armazenamento de água. Como afirma o autor MÜLLER (1995), não apenas razões técnicas definem o porte das barragens e dos reservatórios, motivos políticos, sociais, ecológicos e de oportunidade, alguns de caráter subjetivo e outros que necessitam viabilizações extra setoriais, podem impor restrições ao máximo aproveitamento do potencial de um empreendimento hidrelétrico.

De acordo com EPE (2013), em relação às outras fontes renováveis de geração (eólicas, PCH e termelétricas a biomassa), nota-se uma expansão média anual de 10% até 2022, com destaque para as usinas eólicas. No horizonte decenal, estima-se que a geração distribuída (grande e pequeno porte), permita reduzir o consumo do SIN em um total de 117 TWh em 2022, sendo 115 TWh em sistemas de grande porte, instalada em indústrias tais como produção siderúrgica, celulose e papel, química, refino, produção de açúcar e álcool, entre outras, além do setor comercial.

O aproveitamento desse potencial pode compensar em parte a impossibilidade ambiental de se implantar UHEs com reservatório de regularização.

Os projetos que têm seus estudos e processos de construção e licitações acompanhados, fiscalizados e sinalizados como “verde” pela ANEEL estão representados na expansão contratada.

Ilustração 14 – Gráfico do Acréscimo de Capacidade Instalada Eólica, PCH e Biomassa



Fonte: EPE (2013)

Conforme demonstrado no gráfico anterior, existe um grande potencial de oferta de energia proveniente de fontes renováveis. Essas fontes poderão contribuir para manter a elevada participação das fontes renováveis na matriz elétrica brasileira, com preços competitivos e tecnologias que já se encontram em um grau de maturidade adequado.

Os leilões de 2009 a 2014 demonstraram que a geração eólica está em franco crescimento, pois conforme se observam nos últimos anos as usinas eólicas atingiram preços bastante competitivos, chegando a aproximadamente R\$ 126 / MWh no leilão A-3 de 2014 e impulsionaram a instalação de uma indústria nacional de equipamentos para atendimento desse mercado. Sua participação crescente na matriz de energia elétrica resultou de uma combinação de fatores relacionados ao cenário externo, ao desenvolvimento tecnológico e da cadeia produtiva, além de aspectos regulatórios, tributários e financeiros. Desta forma, o aumento de competitividade da geração eólica freou a participação da PCH em novos projetos de energia.

Tecnicamente existe um potencial muito grande em capacidade de suprimento através da geração distribuída frente à capacidade das grandes hidrelétricas. Somente citando um caso em geração solar fotovoltaica, segundo RUTHER (2010); caso o lago de Itaipu fosse coberto com painéis fotovoltaicos (com 8% de eficiência global de conversão e assumindo a radiação solar da região do lago), a geração seria de 183 TWh/ano, o que representaria aproximadamente 45% do total consumido pelo Brasil em 2008. Como abordado anteriormente, não haveria

grandes impactos negativos no que diz respeito aos aspectos ambientais e sócio-políticos da geração distribuída, entretanto os maiores desafios esbarram nos aspectos técnicos e econômicos.

Para os projetos em energia solar que participaram do 6º leilão de Energia de Reserva em 31/10/2014, o interesse dos investidores superou as expectativas do mercado no Leilão de Energia de Reserva (LER). O preço médio oferecido ficou 17,9% abaixo do teto de R\$ 262/MWh, a R\$ 215,12/MWh, rompendo com folga a barreira dos R\$ 250, que era apontada por especialistas como um patamar mínimo de atratividade dos projetos. O volume de contratação também ficou acima do esperado. A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) comprou 1.048 MW em capacidade instalada, equivalente a um décimo da potência de Belo Monte.

5.3. ASPECTOS ECONÔMICOS

5.3.1. Investimentos

Grandes hidrelétricas atraem investimentos vultosos da iniciativa privada local e externa, bem como do governo federal para a implantação destes grandes empreendimentos, possibilitando maior credibilidade do país no cenário internacional e desencadeando uma rede de investimentos menores de forma complementar e relacionada ao empreendimento maior.

Grandes hidrelétricas possibilitam baixo custo de operação e manutenção já que utilizam a água das chuvas que é uma fonte renovável, entretanto requer um altíssimo investimento inicial para construção. Através do Operador Nacional do Sistema (ONS), as usinas hidrelétricas operam de forma nacionalmente integrada de forma a buscar o menor custo possível de geração de energia, minimização de riscos de não suprimento e utilização de outras fontes de geração para complementar o suprimento, conforme estudado anteriormente.

Por se tratar de um local centralizado, durante a construção pode ocorrer perdas financeiras em decorrência de tumultos e acidentes, tais como ocorreu em Jirau e Belo Monte, causando a postergação da entrega da obra e afetando o planejamento energético do país.

Para os casos em que os empreendimentos em linhas de transmissão de energia se tornam inviáveis do ponto de vista econômico ou ambiental, a geração distribuída é uma excelente alternativa de fornecimento de energia, principalmente para locais remotos do Brasil.

Existe também o caso, onde comunidades e vilarejos nas proximidades de linhas de transmissão em alta tensão, mas que de alguma forma não se beneficiam desta proximidade com a linha, a GD é uma alternativa viável.

5.3.2. Modularidade

Aliada aos curtos prazos de instalação, a geração distribuída elimina ou minimiza a necessidade de capacidade ociosa. Além disso, as inovações tecnológicas podem ser prontamente utilizadas, ao contrário do que ocorre com grandes centrais hidrelétricas, onde, devido aos longos prazos de instalação, teoricamente cinco anos, a tecnologia utilizada pode estar defasada quando a usina entra em operação, principalmente os equipamentos relacionados ao escopo de sistemas de automação e sistemas auxiliares elétricos.

Unidades de GD de menor capacidade minimizam os desvios de planejamento de expansão da matriz elétrica, pois permitem incrementos de geração menores e ajustam-se melhor ao crescimento da demanda, além disso, facilitam o procedimento de redespacho durante manutenções programadas, pois reduzem o montante de capacidade instalada que se tornará indisponível.

5.3.3. Custos com Combustível

Para as tecnologias de geração distribuída que se utilizam de combustíveis fósseis para gerar energia, uma grande barreira de ordem econômica pode ser o maior custo unitário do combustível, devido às pequenas centrais não apresentarem os mesmos ganhos de escala que as grandes centrais. Isto não se relaciona à eficiência energética do combustível, que é a mesma independente da escala, mas sim ao custo global de aquisição do mesmo.

5.3.4. Tarifas de Energia

O Brasil dispõe de recursos significativos para exploração das fontes de geração distribuída, vasto campo a ser explorado em cogeração e grandes reservas de silício e biomassa. A ampliação da capacidade de produção de energia elétrica a partir da geração distribuída ainda requer a realização de pesquisas e desenvolvimento do parque tecnológico existente a fim de tornar economicamente atrativo. O investimento nesta ampliação beneficiaria o país com a redução dos custos de produção, geraria conhecimento e empregos e contribuiria para expansão da oferta, conforme abordado anteriormente. Áreas isoladas do sistema de fornecimento de energia elétrica e sem nenhuma infraestrutura de transmissão e distribuição poderiam contar com fontes confiáveis e de baixo impacto.

Do ponto de vista do consumidor de energia elétrica, a geração distribuída pode ser uma alternativa mais viável para se evitar o consumo de energia utilizando-se das onerosas tarifas de horário de ponta das concessionárias ou de acréscimo das tarifas em função de fatores de estiagem ou condições dos reservatórios e consequentemente a geração de energia mais onerosa para suprir a demanda, como por exemplo o acionamento das usinas termoeletricas.

A geração distribuída ajusta-se melhor a taxas variáveis de crescimento da demanda, reduzindo o risco associado a erros de planejamento que podem resultar em sobre capacidade, conforme WALTER et al., (2000).

Em abril de 2012 onde a ANEEL elevou o desconto de 50% para 80% na Tarifa de Uso dos Sistemas Elétricos de Transmissão (TUST) e na Tarifa de Uso dos Sistemas Elétricos de Distribuição (TUSD).

5.3.5. Barreiras Econômicas

Em termos econômicos, a geração distribuída enfrenta algumas barreiras tais como:

- Estrutura tarifária atual das concessionárias não reflete de maneira correta a diferenciação dos custos de abastecimento nos diferentes períodos do dia e do ano;
- Interconexão com a rede elétrica demandam estudos de engenharia que ficariam a cargo do gerador;

- Informação de custos de modo a identificar as áreas de alto custo marginal pelas concessionárias.

As barreiras creditícias, associadas à impossibilidade de acesso ou à dificuldade de acesso à linhas de crédito, seja pela simples inexistência de linhas adequadas, seja pela exigência de inúmeras garantias, tornam os projetos de geração distribuída menos viáveis.

A cogeração é justificada energeticamente pela economia de combustível que o processo traz frente a produção convencional de energia, que leva a se buscar o aumento da eficiência energética. No Brasil, além da parcela da tarifa que corresponde a encargos, impostos e contribuições ser uma das mais onerosas, cerca de 30% do valor final da tarifa ao consumidor final, ainda existe a tributação em situações onde ela atua como um “freio” ao negócio, como é o caso da cobrança de ICMS aos cogeneradores que utilizam a energia apenas para o seu autoatendimento e não geram nenhum subproduto advindo do uso desta. Por exemplo, quando o cogenerador é uma empresa, este normalmente repassa os encargos do ICMS ao consumidor final embutindo estes no preço do produto manufaturado com a energia da cogeração.

Entretanto, quando o cogenerador tem por finalidade atender a um grupo de consumidores residenciais ou comerciais seus investidores passam a contabilizar tais tributos como custos adicionais, uma vez que estes são seus próprios consumidores finais, à exceção de uma cogeração qualificada vendendo excedentes para terceiros. Temos assim uma situação onde o encargo, no caso o ICMS, pode tornar a energia produzida mais onerosa, inviabilizando a venda de excedentes ou até mesmo o projeto de cogeração como um todo.

Mantida a atual política de preços das concessionárias de energia elétrica (tarifas reduzidas para os grandes consumidores de energia), a cogeração com tecnologias mais eficientes dificilmente se viabilizará, apesar dos benefícios estratégicos para todos os setores envolvidos e das vantagens ambientais para a sociedade.

Apesar das dificuldades para garantir a oferta de energia, não se verifica ainda por parte do setor elétrico uma política específica visando a implementação da cogeração de energia visando a geração distribuída. O incentivo a cogeração de

energia fica restrito à autossuficiência energética de modo a mitigar riscos de desabastecimento de energia elétrica.

Com relação a energia fotovoltaica, a mesma é cara em média, onde o CAPEX para produção de 1 MWh gira em torno de 2 a 3 Milhões de Dólares, a valores de venda de energia em torno de 110 R\$/MWh, resultando em projetos com TIR abaixo de 8%.

A seguir outras barreiras para geração fotovoltaica:

- A inexistência de uma cadeia de valor nacional para fabricação e montagem de células e painéis e de benefícios fiscais para instalação de indústrias no Brasil ou estabelecimento de projetos a taxas internas de retorno atrativas;
- Qualificação da mão de obra e centros de ensino no setor insuficientes para desenvolvimento de projetos, instalação e fabricação de sistemas fotovoltaicos;
- A taxa de câmbio que dificulta a importação de painéis, inversores ou células fotovoltaicas;
- Inexistência de uma política industrial e investimentos para desenvolvimento de purificação do silício por parte do governo brasileiro.

Outra medida recente adotada no país foi o net-metering. É um mecanismo de compensação que permite que consumidores possam gerar energia em suas próprias edificações e injetar o excedente gerado na rede de distribuição. A energia injetada na rede gerará créditos de eletricidade que serão deduzidos das faturas dos consumidores, com prazo de validade de 36 meses. As fontes elegíveis para esse tipo de geração são energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, com potência máxima de 1 MW. Entende-se que ainda há muito a avançar nesse sentido de modo a incentivar a geração distribuída para torna-la viável economicamente e estimular que pequenos e micro geradores possam começar a fornecer energia elétrica para o sistema.

5.4. ASPECTOS AMBIENTAIS

5.4.1. Grandes Hidrelétricas

As grandes hidrelétricas e reservatórios geralmente provocam os seguintes impactos no meio físico durante ou após a construção:

Geologia e Geomorfologia

- Instabilidade de taludes naturais;
- Elevação do lençol freático;
- Indução de sismicidade;
- Inundação de jazidas.

Solo

- Melhorias nos processos agrícolas pelo controle de inundações e melhorias na irrigação;
- Dinamização dos processos erosivos;
- Redução de área de solo;
- Alteração na capacidade de uso.

Recursos Hídricos

- Melhor gerenciamento dos níveis de água do rio;
- Mudanças de condições lóticicas para lênticas;
- Controle da qualidade da água;
- Alteração na qualidade da água;
- Mudança nas comunidades planctônicas e bentônicas;
- Pantonização;
- Eutrofização.

Clima

- Proporcionam um aumento da evaporação na região dos empreendimentos;
- Elevação da umidade relativa do ar;
- Alteração na velocidade do vento;
- Alteração no microclima.

As grandes hidrelétricas e reservatórios geralmente provocam os seguintes impactos no meio biológico durante ou após a construção:

Vegetação

- Eliminação da vegetação natural ou implantada;
- Alterações estruturais e funcionais da vegetação remanescente;
- Proliferação de macrófitas;
- Mudança nas comunidades fitoplanctônicas e fitobentônicas;
- Não provocam ruídos, gases oriundos de queimas, produtos químicos e substâncias nocivas à fauna e a flora.

Fauna

- Alteração na composição e nicho ecológico da fauna aquática e terrestre;
- Potencial extinção de espécies;
- Risco de lesões e óbitos em cardumes nas proximidades do circuito hidráulico da usina hidrelétrica;
- Mudança nas comunidades zooplanctônicas e zoobentônicas.

Um dos principais gases proveniente da decomposição da vegetação submersa é o metano, cinquenta vezes mais potente que o CO₂.

5.4.2. Turbinas a Gás e Motores de Combustão Interna

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos leves, que à temperatura ambiente e pressão atmosférica, permanece no estado gasoso. Na natureza, ele é encontrado acumulado em rochas porosas no subsolo, frequentemente acompanhado de petróleo. Já o gás liquefeito de petróleo (GLP) é constituído de propano, butano e butileno.

Do ponto de vista ambiental, a utilização do gás natural é mais conveniente, pois o teor de enxofre no gás é pequeno e emite baixas quantidades de material particulado. O GLP também é considerado um gás limpo, pois emite inferiores quantidades de poluentes do que outros combustíveis fósseis.

Sistemas de geração distribuída que tipicamente utilizam Gás Natural ou GLP como combustível, emitem poluentes gasosos na atmosfera, que podem agravar

problemas como o efeito estufa e geram grandes problemas relacionado a alta emissão de ruídos em níveis elevados.

Os principais poluentes gerados são:

Oxido de Nitrogênio (NOx)

Gerados pela maioria as tecnologias convencionais, é produto mais acentuado durante a queima do gás natural em turbinas a gás devido a altas temperaturas na câmara de combustão. Causa danos respiratórios fazendo com que o indivíduo fique sujeito a infecções das vias respiratórias e dos pulmões.

Óxido de Enxofre (SOx)

É produzida durante a combustão, principalmente nas centrais termelétricas a óleo e a carvão. Pode causar lesões do aparelho mucociliar, traqueobronquite crônica e predisposição a infecções respiratórias, como a bronco-pneumonias.

Material Particulado

Tecnologias que utilizam o gás natural ou o GLP emitem pequenas quantidades de material particulado. Podem causar lesões nos pulmões.

Monóxido de Carbono (CO)

Produto da combustão incompleta do carvão e dos derivados do petróleo. É tóxico, prejudica a oxidação dos tecidos, é um asfixiante sistêmico. É o mais abundante na atmosfera.

Dióxido de carbono (CO₂)

Resultado da queima completa do carbono que faz parte da composição do combustível e o principal gás do efeito estufa.

Níveis de Ruído

Durante o processo de licenciamento de sistemas que utilizam turbina a gás enfrentam problemas na obtenção das licenças devida a altas emissões de ruídos. Conforme LORA e ADDAD (2006), o invólucro da turbina a gás pode chegar a 110 dB(A), a turbina a vapor fechada pode chegar a 98 dB(A) e a entrada da turbina a gás chega a 94 dB(A).

5.4.3. Energia Eólica

O mais relevante benefício ao meio ambiente da geração eólica é a não-emissão de dióxido de carbono na atmosfera. A moderna tecnologia eólica apresenta um balanço energético extremamente favorável e as emissões de CO₂

relacionadas com a fabricação, instalação e serviços durante todo ciclo de vida do aerogerador são “recuperados” depois de três a seis meses de fabricação.

Além do mencionado anteriormente, estes fatores também impulsionam a energia eólica:

- Redução a dependência de combustíveis fósseis, sendo o vento um recurso abundante e renovável;
- As centrais eólicas ocupam um pequeno espaço físico e permitem a continuidade de atividades entre os aerogeradores (pastagens e agricultura);
- Melhora da economia local e oferta de empregos.

Emissão de Poluentes

A emissão de gases poluentes é mínima, somente gerada na etapa de fabricação dos componentes e durante o transporte; emissão nula durante a geração de energia.

Tabela 5.1 – Emissão de CO₂ nos estágios de produção de energia elétrica [ton/GWh]

EMIÇÃO DE CO ₂ EM TON/GWH				
Tecnologia	Extração	Construção	Operação	Total
Coal-fired	1	1	962	964
Oil-fired	-	-	726	726
Gas-fired	-	-	484	484
Geothermal	<1	1	56	57
Small hydro	n.a.	10	n.a.	10
Nuclear	2	1	5	8
Wind	n.a.	7	n.a.	7
Photovoltaics	n.a.	5	n.a.	5
Large hydro	n.a.	4	n.a.	4
Solar thermal	n.a.	3	n.a.	3
Wood	-1509	3	1346	-160

Fonte: WORLD ENERGY COUNCIL (1993)

Preocupações com o crescimento da concentração de CO₂ e de gases de efeito estufa na atmosfera têm mobilizado diversos países na busca de soluções efetivas para a redução das emissões nos próximos anos. Uma turbina de 600 kW, por exemplo, instalada em uma região favorável poderá, dependendo do regime de vento e do fator de capacidade, evitar a emissão de 20.000 a 36.000 toneladas de

CO₂, equivalentes à geração convencional por combustível fóssil, durante seus 20 anos de vida útil estimado.

Das quatro tecnologias listadas na tabela 2, que apresentam emissões de CO₂ abaixo do nível da energia eólica, somente as grandes centrais hidrelétricas são tão competitivas comercialmente na atualidade. Entretanto, a utilização de grandes hidrelétricas tem sido questionada no Brasil em virtude das mesmas serem instaladas cada vez mais longe dos centros consumidores e do comprometimento da vegetação submersa nos grandes reservatórios de modo a produzir uma quantidade substancial de gases de efeito estufa.

Impacto sobre a Fauna

No que tange a geração eólica, a maior preocupação relativa à fauna é com os pássaros e morcegos, os quais podem vir a colidir com estruturas (torres de alta tensão, mastros, janelas de edifícios) e com as turbinas eólicas. O comportamento dos pássaros e morcegos e as taxas de mortalidade tendem a ser específicos para cada espécie e também para cada localidade.

Muitos pássaros de inúmeras espécies ameaçadas de extinção morreram em colisões com as turbinas (WORLD ENERGY COUNCIL, 1993). Entretanto fora das rotas de migração, os pássaros são raramente incomodados pelas turbinas eólicas.

Ruídos

O impacto ambiental do ruído gerado pelo sistema eólico ao girar suas pás é um dos mais importantes temas de discussão da energia eólica. O desenvolvimento tecnológico nos últimos anos, juntamente com as novas exigências de um mercado crescente e promissor, promoveram um avanço significativo na diminuição dos níveis de ruído produzidos pelas turbinas eólicas. Este problema está relacionado com fatores como a aleatoriedade do seu funcionamento e a variação da frequência do ruído uma vez que este se ajusta diretamente com a velocidade de vento incidente.

O ruído proveniente das turbinas eólicas tem duas origens: mecânica e aerodinâmica. O ruído mecânico tem sua principal origem da caixa de engrenagens, que multiplica a rotação das pás para o gerador. O conjunto de engrenagens funciona na faixa de 1.000 a 1.500 rpm, onde a vibração do mesmo é transmitida para as paredes da *nacele*, onde é fixada. A transmissão de ruído mecânico também pode ser ocasionada pela própria torre, através dos contatos desta com a *nacele*. Avanços a respeito do ruído mecânico gerado pelas turbinas eólicas foram obtidos

atualmente. O uso da tecnologia em turbinas eólicas através de um gerador elétrico multipolo conectado diretamente ao eixo das pás pode ajudar neste sentido. Esse sistema de geração dispensa o sistema de engrenagens para multiplicação de velocidade, pois o gerador funciona mesmo em baixas rotações. Sem a principal fonte de ruído presente nos sistemas convencionais, as turbinas que empregam o sistema multipolo de geração de energia elétrica são significativamente mais silenciosas.

O ruído aerodinâmico é um fator influenciado diretamente pela velocidade do vento incidente sobre a turbina eólica. Ainda existem vários aspectos a serem pesquisados e testados tanto nas formas das pás quanto na própria torre para a sua redução. Pesquisas em novos modelos de pás, procurando um máximo aproveitamento aerodinâmico com redução de ruído, são realizadas, muitas vezes, de modo semi-empírico, proporcionando o surgimento de diversos modelos e novas concepções em formatos aerodinâmicos das pás.

O ruído pode causar impactos negativos também à fauna local - como, por exemplo, a sua interferência no processo reprodutivo das tartarugas.

Interferência Eletromagnética

Turbinas eólicas podem causar interferência eletromagnética (IEM) por reflexão de sinais das pás de modo que um receptor próximo recebe um sinal direto e um refletido. A interferência ocorre porque o sinal refletido é atrasado devido à diferença entre o comprimento das ondas alterado por causa do movimento das pás. A IEM é maior em materiais metálicos, que são refletores e mínimos para pás de madeira, que absorvem. A fibra de vidro reforçada com epóxi, que é utilizada na maioria das pás modernas, é parcialmente transparente às ondas eletromagnéticas e, portanto diminui o efeito da IEM.

Os sinais de comunicação civis e militares podem ser afetados por IEM, incluindo transmissões de TV e rádio, comunicações de rádio microondas e celular, comunicação naval e sistemas de controle de tráfego aéreo.

Uso da Terra

Geralmente, após a instalação do parque eólico, as áreas ocupadas permitem qualquer atividade agrícola entre cada base de torre. Não há evidências de que fazendas eólicas interfiram em grande extensão em terras cultiváveis ou agropecuárias (EWEA, 2000).

A energia dos ventos é, além disso, uma fonte de energia primária difusa relativa, mas qualquer comparação válida com outros meios de geração em uso em terra deve considerar o ciclo de combustível total em cada caso. Na comparação com outras tecnologias, a energia eólica requer um espaço menor para produzir a mesma quantidade de eletricidade. Uma proporção grande de área de terra utilizada para a geração com queima de carvão é contabilizada principalmente pela mineração e atividades de transporte, localizadas longe das usinas elétricas.

Tabela 5.2 - Uso da Terra para diferentes tecnologias de geração de eletricidade

Tecnologia	Terra requerida em 30 anos (m²/GWh)
Geotérmica	404
Eólica	800 - 1335
Solar Fotovoltaica	3237
Solar Térmica	3561
Carvão	3642

Fonte: EWEA (2000).

Impacto Visual

As fazendas eólicas são instaladas, preferencialmente, em áreas livres (sem obstáculos naturais) para que sejam comercialmente viáveis, sendo, desta forma, visíveis.

A reação provocada por um parque eólico é altamente subjetiva. Muitas pessoas olham a turbina eólica como um símbolo de energia limpa sempre bem-vindo, outras reagem negativamente à nova paisagem.

Outros Impactos

Além dos impactos mencionados e já amplamente discutidos, existem também outros possíveis impactos obtidos durante a geração eólica, mas deverão ser objeto de análise por especialistas.

Os impactos relativos à refrigeração e umidificação do ar das regiões a jusante do fluxo dos ventos, principalmente nas regiões costeiras brasileiras.

O ar que passa pelos aerogeradores para gerar energia elétrica, perde energia cinética neste trecho perdendo velocidade e poder de alcance nas suas correntes. Portanto, regiões mais a jusante destas correntes de ar receberão

quantidades de renovações de ar inferiores, consequentemente um volume inferior de umidade e ar refrigerado provocando alterações nos microclimas destas regiões, tais como aridez e secas.

5.4.4. Energia Solar

O sol produz uma quantidade maior do que 10 vezes a quantidade de energia das reservas mundiais de carvão e petróleo combinados e é reconhecidamente uma fonte de geração de energia elétrica “limpa”, pois não gera poluentes durante a geração de energia.

Além do mencionado anteriormente, estes fatores também impulsionam a energia solar:

- Reduz a dependência de combustíveis fósseis, sendo o sol um recurso abundante e renovável;
- As centrais solares ocupam um pequeno espaço físico e não aproveitável; localizado geralmente nos telhados de casas e edifícios;
- Melhora a economia local e oferta de empregos.

Emissão de Poluentes

A emissão de gases poluentes é mínima, somente gerada na etapa de fabricação dos componentes e durante o transporte; emissão nula durante a geração de energia.

Fabricação dos painéis ou células

Produtos químicos, metais pesados e uma grande quantidade de água são utilizados na fabricação dos painéis ou células fotovoltaicas.

A purificação do silício e cristalização são processos que demandam muitos recursos naturais.

Impacto Visual

A reação provocada por um conjunto de painéis solares é altamente subjetiva, similar a geração eólica.

Muitas pessoas olham os painéis como um símbolo de energia limpa sempre bem-vindo, outras reagem negativamente à nova paisagem, pois interferem no aspecto externo de casas e prédios.

5.4.5. GD com Saneamento Ambiental em Reservatórios

O volume de plantas aquáticas colhido em reservatórios não é somente expressivo, mas também rico em nutrientes que as plantas extraíram das águas. Esse material pode ser usado de diversas formas como:

- *Mulching*: matéria orgânica morta usada para recobrimento de áreas de solo degradadas ou áreas de empréstimo;
- Aditivo do solo e adubo;
- Alimento: para suínos, muares, aves, bubalinos e bovinos;
- Substrato orgânico;
- Indústria papelreira;
- Tratamento de águas residuais: através de processos domésticos, urbanos e mesmo industriais.
- Energia através da eutrofização: especialmente na forma digerida por biodigestores, produzindo o metano.

A experiência tem demonstrado, especialmente quando aproveitado por pequenos proprietários, que esse aproveitamento oferece grandes possibilidades de benefícios à população lindeira dos reservatórios através da geração distribuída.

A eutrofização, cujo fenômeno é causado pelo excesso de nutrientes (compostos químicos ricos em fósforo ou nitrogênio) numa massa de água, provocando um aumento excessivo de algas. Estas, por sua vez, fomentam o desenvolvimento dos consumidores primários e eventualmente de outros elementos da teia alimentar nesse ecossistema. Este aumento da biomassa pode levar a uma diminuição do oxigênio dissolvido, provocando a morte e consequente decomposição de muitos organismos, diminuindo a qualidade da água e eventualmente a alteração profunda do ecossistema.

Os processos de eutrofização e pantanização que ocorrem em reservatórios de água pode ser uma fonte geradora de biogás e permitindo a implantação de uma planta geradora distribuída de energia elétrica.

As principais vantagens são:

- Estímulo, de forma sustentável, à eliminação das causas da poluição decorrente do lançamento de dejetos animais nos rios e reservatórios;
- Utilização do potencial energético que tem sido desperdiçado;

- Redução da emissão de gases que causam o efeito estufa;
- Renda adicional aos proprietários rurais;
- Utilização da matéria orgânica residual na adubação da propriedade rural.

5.5. ASPECTOS SÓCIO-POLÍTICOS

5.5.1. Grandes Hidrelétricas

Quanto mais uma região se desenvolve, mais aumenta a sua necessidade de água. Essa água será consumida ou usada sem sua consumação, ou seja, sem seu desaparecimento no estado natural. A hidroeletricidade é considerada por diversos especialistas como não consuntiva, porque a água usada na geração é integralmente devolvida a jusante da usina e poderá ser reutilizada normalmente, até mesmo em outras usinas águas abaixo, ao contrário de usinas termelétricas, por exemplo.

A ampliação do emprego das águas implica esforços para compatibilização de interesses eventualmente opostos. Há de se buscar uma combinação que concilie o interesse econômico, otimizando o sistema elétrico no atendimento das demandas de ponta, com a produção da maior quantidade possível de benefícios econômicos e socioambientais à região do projeto.

Essa combinação tem três formas de inter-relacionamento entre os usos: a complementar, a suplementar e a competitiva.

Os usos complementares, tais como os usos recreativos e a pesca, exigem elevada qualidade das águas para seu pleno exercício. Os usos suplementares, como os de um lago destinado simultaneamente à hidroeletricidade, ao controle de cheias e à navegação, são os que aperfeiçoam, ampliam e acrescentam a utilização das águas e do meio. A concessão de competitivos, por sua vez, recomenda a existência de diretrizes operacionais que classifica, em cada situação de conflito, as prioridades de atendimento e os limites ou pontos de ruptura.

A combinação ótima, essência do conceito de desenvolvimento sustentado – é aquela em que os usos das águas resultam em maiores benefícios, para os melhores usos, em caráter permanente.

A seguir os principais usos múltiplos adotados em projetos hidrelétricos baseados na experiência brasileira:

- Pesca e produção pesqueira;
- Navegação, portos e rotas;
- Recreação, lazer e educação ambiental;
- Irrigação;
- Produção agropecuária;
- Água a serviço do desenvolvimento.



Ilustração 15 - Eclusa de Tucuruí em Construção

Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Eclusas_de_Tucuru%C3%AD> Acesso em 14/11/2014

Grandes hidrelétricas provocam surgimento de novos empregos diretos e indiretos durante e após a construção, melhoras de infraestrutura regional e recursos comunitários, aumento de arrecadação de impostos, melhoria considerável na qualidade de abastecimento de água e pode ser uma excelente oportunidade em desenvolver o patrimônio cultural proporcionando atividades de turismo e recreação.

O aproveitamento hidrelétrico provocam inundações de núcleos urbanos e terras agrícolas, migração da população, desemprego em algumas atividades, alteração do uso e ocupação do solo, aumento do risco de acidentes em locais próximos a barragem, inundações de bancos genéticos, inundações de sítios de interesse cultural, histórico, arqueológico, paisagístico e de lazer, degeneração de valores etnoculturais, bem como uma forte especulação imobiliária urbana e rural.

5.5.2. Geração Distribuída

Expandir a geração distribuída contribui para promover o desenvolvimento local através do uso de recursos próprios da região em que a instalação é inserida, além da dinamização das atividades econômicas e geração de empregos em função da maior produção industrial e do maior volume de serviços.

No meio rural e em áreas isoladas, a geração distribuída já se apresenta como uma solução para universalização do acesso à eletricidade. Sistemas individuais de geração e miniredes de distribuição já são soluções para fornecimento em comunidades da Amazônia.

Conforme MME (2014), o programa “Luz para Todos” tinha o desafio de acabar com a exclusão elétrica no Brasil com a meta de levar o acesso de energia elétrica, gratuitamente, para 10 milhões de pessoas do meio rural até o ano de 2008.

O Programa foi coordenado pelo Ministério de Minas e Energia, operacionalizado pela Eletrobrás e executado pelas concessionárias de energia elétrica e cooperativas de eletrificação rural em parceria com os governos estaduais.

O Programa teve uma nova fase de 2011 até 2014, devido ao Censo de 2010 do IBGE constatar que ainda haviam famílias sem energia elétrica em casa.

Para o atendimento de toda essa população, foi destinado recursos provenientes de fundos setoriais de energia - a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) e a Reserva Global de Reversão (RGR). O restante do investimento foi partilhado entre governos estaduais e as empresas distribuidoras de energia elétrica. Com a edição da Lei nº 12.783/2013 os recursos da CDE passaram a ser assegurados pelo Tesouro Nacional. A eles soma-se uma linha de financiamento da Caixa Econômica Federal, nos mesmos moldes da RGR. Os investimentos chegam a R\$ 22,6 bilhões (MME, 2014).

No caso de fazendas eólicas, os proprietários das terras podem ganhar alugando espaço para os aerogeradores sem perder muito no que se refere à área útil agricultável.

A GD como alternativa para expansão do sistema elétrico permite o crescimento dos níveis de emprego e renda, propiciam o desenvolvimento de um novo mercado de equipamentos e prestação de serviços.

5.5.3. Entraves Burocráticos

A geração distribuída requer menores entraves burocráticos devido a problemas políticos e ambientais relacionados a concessões de faixas de servidão para novas redes de transmissão, visto que o crescimento destas é altamente influenciado pelo surgimento de novas centrais elétricas convencionais.

A GD estimula a competição, o que causa impactos positivos no que se refere à redução de tarifas de energia elétrica.

Embora seus custos sejam ainda relativamente elevados comparados a forma de geração centralizada, negligenciam-se suas rápidas taxas de evolução, seu custo decrescente e seu nicho de mercado indiscutível, no que se refere ao atendimento a regiões remotas e com alto custo marginal de expansão, proporcionando uma análise tendenciosa e pessimista quanto ao verdadeiro potencial.

5.5.4. Barreiras de Ordem Institucional

Instabilidades Macroeconômicas

Trocas de partidos no poder com perspectivas de alterações no arcabouço legal da legislação do setor, novas políticas para o setor, incertezas quanto às taxas de juros, inflação e crescimento do mercado. Estes cenários instáveis podem impedir ou minimizar os investimentos em energia.

Estrutura Tarifária das Concessionárias

As concessionárias ainda não possuem uma estrutura tarifária em tempo real, ou em curto prazo (*real time billing*), de modo a sinalizar tarifas que variem conforme a época do ano e o estado dos reservatórios, ou seja, que sinalizem mais fielmente os custos reais de abastecimento num dado momento. Com isso, as fontes renováveis alternativas deixam de aproveitar os períodos de maior produção e altos preços para ganharem em competitividade. (PAINULY, 2000).

Informações de Custo

A geração distribuída quando for instalada em regiões dentro da área de concessão da distribuidora que possuam alto custo marginal para expansão, poderá atingir um alto grau de crescimento e penetração. Infelizmente ainda são poucas empresas que realizam estes estudos com grande detalhamento.

Monopólio da Distribuição de Energia

Para que ocorra eficiência econômica na implantação da GD, deve ocorrer competição entre os produtores também no nível da distribuição, de modo que o consumidor tenha a opção para adquirir energia de diferentes produtores, e assim responder eficientemente a sinais de preço. Ou seja, não pode ocorrer “*market power*” no nível da distribuição vindo de algum agente, e o ideal é que as empresas distribuidoras também não possuam estrutura organizacional verticalizadas, ou seja, não possuam geração e transmissão pertencentes ao mesmo grupo empresarial. (PAINULY, 2000).

5.6. ASPECTOS REGULATÓRIOS

5.6.1. Nichos e Oportunidades para Geração Distribuída

Após a publicação do decreto nº 5.163 surgiram alguns nichos e oportunidades para a Geração Distribuída conforme ROMAGNOLI (2005). Estes aspectos são:

Planejamento de Carga

Para minimizar déficits contratuais por projeções de carga incorretas pelas distribuidoras, as mesmas poderão efetuar contratos, em prazos mais curtos, com empreendimentos de Geração Distribuída, até o limite de 10% ou comprar energia nos leilões de ajuste com preços próximos aos ditados pelo CCEE, em montantes de até 1% da sua demanda declarada;

Gastos com compra de energia adicional, até o limite do VR (valor de referencia), que está relacionado ao preço médio de energia comprada nos leilões A-5 e A-3 e tem fórmula de cálculo estabelecida em lei, poderão ser repassadas integralmente à tarifa final de fornecimento;

Comercialização de Energia

O decreto nº 5163 não permite exposição direta da distribuidora ao Mercado Spot, e caso isto ocorra, esta estará sujeita a uma penalização dada pelo maior valor entre o PLD (Preço de Liquidação de Diferenças) e o valor de referência.

É prevista também no novo decreto a possibilidade de descontratação de até 4% do CCEAR – Contrato de Comercialização de Energia em Ambiente Regulado, por motivo de perda de consumidores livres;

Mecanismo de Compensação

O decreto estabelece a existência de um mecanismo de compensação de sobras e déficits entre distribuidores ou concessionários, mensalmente, para que se troquem sobras de uns por déficits de outros, via transferência do CCEAR para o mês em questão.

5.6.2. Vantagens do Decreto nº 5163

O critério da eficiência mínima dos empreendimentos de GD (cogeração qualificada) posiciona a GD como um atrativo para a distribuidora de energia elétrica, já que poderia ser vista como uma possível concorrente e como causadora de perdas de receita. Além da vantagem do critério de eficiência, permite também, um melhor planejamento pela distribuidora e como alternativa para que a mesma não se submeta aos preços do mercado *spot*. Haja vista que os empreendimentos de geração distribuída podem ter prazos de construção inferiores, eles PODEM assumir um papel muito importante como ferramenta de planejamento das distribuidoras e das geradoras para corrigir desvios de demanda.

Outra vantagem da GD como recurso de planejamento está relacionado a seu aspecto modular que permite acréscimos de geração menores, e, portanto equalizando melhor as curvas de oferta e demanda.

A GD pode ser um nicho até mesmo para as empresas geradoras, uma vez que no decreto nada impede que elas invistam em GD na área de concessão das distribuidoras, e poderão também ter opções para diminuir seu custo marginal de expansão.

O nichos para microgeração (até 500 kW) para autoprodutores poderão vender seus excedentes como parcela de Geração Distribuída e a preços competitivos uma vez que seu investimento em geral já foi amortizado pela parcela de autoprodução.

5.6.3. O Caso da Legislação Americana para GD (lei PURPA)

Um relevante exemplo de legislação em geração distribuída é sem dúvida a legislação americana, que é conhecida nos meios técnicos pela sua sigla PURPA – Public Utility Regulatory Act. de 1978 e promotora de uma efetiva ampliação da capacidade instalada em sistemas de geração fora do âmbito das concessionárias e junto aos consumidores.

Segundo LORA e ADDAD (2006), os dispositivos desta legislação determinavam que as grandes concessionárias tornassem públicos seus custos de atendimento das diversas classes de consumidores em diversas épocas do ano, para serem adotados como referencia na remuneração dos excedentes energéticos dos autoprodutores, segundo o conceito do custo evitado.

As comissões de serviços públicos estaduais deveriam promover audiências públicas para discussão das tarifas de energia elétrica e seus impactos comparados com programas de conservação de energia.

Estas análises deveriam contemplar além dos aspectos da sazonalidade, a formatação de preços diferentes ao longo da tipologia da curva de carga de cada concessionária. Finalmente determinava que fossem estabelecidas análises referentes a tarifação invertida, ou seja, o consumidor pagaria mais na medida em que seu consumo aumentasse. Os dispositivos transformaram a questão da eficiência energética em questão de política pública nacional e criaram bases para uma completa reformulação da indústria de energia cujas consequências afetam inclusive a formulação da política energética no Brasil.

Continuando conforme os autores, antes da edição da PURPA, o pequeno cogrador e o pequeno produtor de energia elétrica tinham três problemas:

- a) As concessionárias não compravam a energia cogerada e ou produzida em instalações do pequeno produtor e quando o faziam praticavam preços sem nenhuma vinculação com a realidade;
- b) A cogeração era desencorajada na forma de tarifas extremamente altas de *backup* ou reservas suplementares de potência;
- c) As atividades de comercialização de energia elétrica eram expostas aos custos administrativos e burocráticos do complexo sistema regulatório americano.

A regulamentação procurou eliminar os problemas citados e a partir de março de 1981 todas as concessionárias do país, inclusive cooperativas de eletrificação rural, empresas municipais, investidores privados de energia e empresas federais passaram a ser obrigadas a comprar os excedentes de energia elétrica e a capacidade disponibilizada por pequenos produtores qualificados que utilizassem fontes renováveis ou sistemas de cogeração.

A interconexão elétrica com a concessionária podia se feita de duas formas, a primeira com o produtor consumindo a energia gerada em seu próprio local de atividades e comercializando apenas os excedentes. A segunda alternativa era que os geradores distribuídos vendessem toda a energia gerada para a concessionária local e comprasse dela própria, também, toda sua necessidade, alternativa que exige dois sistemas de medição.

Ainda segundo os autores, a maior controvérsia da PURPA dizia respeito a regra estabelecida para pagamento de energia compulsoriamente adquirida pelas concessionárias, ou seja, o custo evitado de expansão. Para aqueles produtores distribuídos de energia elétrica que necessitavam de contratos de energia de reserva de potencia e ou *backup* de energia, os preços não poderiam ser discriminatórios, impedindo-se cobranças maiores do que aqueles já contratados com outros consumidores de energia que não possuíam instalações de produção.

A legislação PURPA e as subsequentes provocaram importantes alterações no mercado de energia nos EUA e de certa forma pode-se afirmar que constituíram no divisor de águas de um novo modelo da indústria de energia elétrica em todo o mundo.

5.6.4. Leis de Incentivo

Como mencionado nesta dissertação, surge em 26 de Abril de 2002 o PROINFA, através da Lei 10.438 e que tem como objetivo aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos de Produtores Independentes Autônomos, concebidos com base em fontes eólicas, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa, num total de 1.100 MW por fonte, no Sistema Elétrico Interligado Nacional.

O PROINFA desenvolveu-se em duas fases distintas. Na primeira fase, seriam contratados 3.300 MW de potencia instalada, sendo 1.100 MW para cada

fonte renovável, assegurando a compra de energia a ser produzida, pelo período de 20 anos, com empreendedores que preencherem os requisitos de habilitação e tiverem seus projetos selecionados, de acordo com os procedimentos da Lei nº 10.438/02. A segunda etapa contempla a ampliação dessas fontes até que atinjam um total de capacidade instalada capaz de atender 10% do consumo anual do país de energia elétrica, com objetivo a ser atingido em 20 anos.

Segundo o PROINFA, o valor pago pela energia elétrica adquirida na forma da primeira fase do programa, os custos administrativos, financeiros e encargos tributários incorridos pela ELETROBRÁS na contratação serão rateados, após prévia exclusão da Subclasse Residencial Baixa Renda cujo consumo seja igual ou inferior a 80 kWh/mês, entre todas as classes de consumidores finais atendidas pelo Sistema Elétrico Interligado Nacional, proporcionalmente aos consumos verificados.

Ainda segundo o PROINFA, a contratação das instalações será mediante chamada pública para conhecimento dos interessados, considerando, no conjunto de cada fonte específica, primeiramente as que já tiverem a Licença Ambiental de Instalação – LI e posteriormente as que tiverem a Licença Prévia Ambiental – LP.

O PROINFA possibilita o governo a passar o controle da geração de energia para a Eletrobrás, que passa a ser responsável pela compra de energia das geradoras e pela venda para as distribuidoras.

No que tange o suprimento da demanda de energia elétrica através da geração distribuída, o país tem caminhado na direção de incentivar a penetração da geração distribuída de pequeno porte, por exemplo, com a Resolução Normativa (REN) no 482/2012 da ANEEL, que, entre outras, estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, além do sistema de compensação de energia elétrica.

5.6.5. Barreiras Regulatórias para GD

Padronização da Rede de Distribuição

Conforme BRIGHENTI (2003), questões como padrões técnicos de conexão e atendimento, principalmente para a rede de distribuição de energia elétrica, estão pouco explicitados na legislação brasileira. O Operador Nacional do Sistema possui regras definidas para o acesso à rede básica, denominadas procedimentos de rede.

No entanto, a maioria dos empreendimentos de geração distribuída, devido ao seu porte, tem sua instalação viabilizada para tensões inferiores a 230 kV, que é a tensão mínima para a rede básica.

Como não se aplicam os procedimentos de rede padronizados e consolidados, cada proprietária da rede de distribuição local estabelece os requisitos técnicos e operacionais sem padronização regulamentar.

Reserva de Capacidade

Entre outros pontos considerados importantes para a regulação da GD, destaca-se uma legislação clara relacionada à contratação e comercialização de Reserva de Capacidade para os Autoprodutores e Produtores Independentes, antigamente denominada Demanda Suplementar de Reserva pela Portaria DNAEE nº 283 de 31 de dezembro de 1985, que está regulamentada pela Resolução ANEEL nº 371 de 29 de dezembro de 1999. Esta é definida como sendo a energia requerida dos sistemas de transmissão e distribuição da concessionária, quando da ocorrência de interrupções ou reduções temporárias na geração de energia elétrica dos geradores distribuídos (Autoprodutor ou PIE). (BRIGHENTI, 2003).

Tarifas de Transmissão e Distribuição (Âmbito Local)

Para interconexão aos sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica, faz-se necessária a regulação das tarifas vigentes. Como fatores impeditivos à GD, pode-se citar distorções econômicas como a questão dos subsídios existentes entre os grupos tarifários das concessionárias, as diferenças demasiadamente pronunciadas entre as tarifas nos diferentes postos tarifários (ponta e fora de ponta) e o fato das tarifas do gás serem desacopladas economicamente das tarifas de eletricidade.

Dificuldades Relatadas pelos Agentes após 1ª Etapa do PROINFA

Ao final da primeira etapa do programa foi a dificuldade dos projetos habilitados em conseguir financiamento junto ao BNDES. O BNDES tem exigido garantias físicas, o que para o caso de empreendedores de fontes eólicas nem sempre é possível, pois o próprio terreno do aerogerador, por exemplo, é muitas vezes arrendado.

Uma outra dificuldade verificada no PROINFA foi referente à modalidade dos contratos que deveriam ser através de leilão e não por preços pré-fixados. Outra distorção apresentada pelo PROINFA refere-se à atualização dos preços dos contratos de energia elétrica, que mesmo já sendo subsidiados pelo setor aumentam

através de reajustes ao longo da vigência do contrato. A análise dos agentes é que o PROINFA poderia ter adotado uma modalidade de subsídio com preços decrescentes.

5.6.6. A Lei 12.783 (MP 579)

A lei 12.783 de 11/01/2013 dispõe sobre concessões de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, sobre a redução dos encargos setoriais e sobre a modicidade tarifária; altera as leis 10.438 de 26 de abril de 2002, 12.111 de 9 de dezembro de 2009, 9.648 de 27 de maio de 1998, 9.427 de 26 de dezembro de 1996 e 10.848 de 15 de março de 2004; revoga dispositivo da Lei no 8.631 de 4 de março de 1993; e dá outras providências.

Segundo a lei, a partir de 12 de setembro de 2012, as concessões de geração de energia hidrelétrica alcançadas pelo art. 19 da lei nº 9.074 de 7 de julho de 1995, poderiam ser prorrogadas, a critério do poder concedente, uma única vez, pelo prazo de até 30 (trinta) anos, de forma a assegurar a continuidade, a eficiência da prestação do serviço e a modicidade tarifária.

A prorrogação de geração seria através da aceitação expressa das seguintes condições pelas concessionárias:

- Remuneração por tarifa calculada pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL para cada usina hidrelétrica;
- Alocação de cotas de garantia física de energia e de potência da usina hidrelétrica às concessionárias e permissionárias de serviço público de distribuição de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional - SIN, a ser definida pela Aneel, conforme regulamento do poder concedente;
- Submissão aos padrões de qualidade do serviço fixados pela Aneel.

A lei tinha como objetivo a redução dos encargos setoriais e dos critérios da renovação das concessões, que na prática deveria provocar a redução da tarifa de energia em 16% para o consumidor residencial e 28% para o setor produtivo, aproximadamente.

A escassez de água nos reservatórios, descrito no Capítulo 1.1 e a não renovação de algumas concessões por parte dos geradores causou desequilíbrio entre oferta e demanda de energia por parte das distribuidoras. Este fato de baixa produção de energia hidrelétrica e às indenizações pagas às empresas que

renovaram as suas concessões obrigou que as distribuidoras recorressem ao mercado de curto prazo, mais caro, pelo uso excessivo das usinas térmicas (com custo de produção elevado).

A escassez de chuvas no início do ano de 2014 provocou um preço da energia no mercado de curto prazo, chamado de Preço de Liquidação das Diferenças (PLD), em grande parte do ano, de R\$ 822,23 / MWh.

Conforme TCU (2014), a redução de despesas prevista pela MP nº 579/2012 era de R\$ 21,7 bilhões, o que daria o desconto médio de 20% nas tarifas. Contudo, alcançou somente R\$ 16,8 bilhões, sendo R\$ 4,2 bilhões em geração, R\$ 5 bilhões em transmissão e R\$ 7,6 bilhões em redução de encargos tarifários. Com esse valor menor, o desconto seria apenas de 15%. Ocorre que o Governo resolveu aumentar o aporte do Tesouro Nacional e manter os 20% de desconto originalmente previstos.

Para obter a redução tarifária, o Governo se valeu não só do Tesouro Nacional, mas postergou para 2015 aumentos nas tarifas que deveriam ter sido repassadas já em 2013. Adiou também o recolhimento de cotas da CDE para a cobertura da exposição involuntária e do acionamento de termelétricas por segurança energética, por um período de até cinco anos.

Ocorreram processos de revisão e de reajuste tarifários periódicos. Embora a redução tenha sido estrutural, já que diminuiu os encargos de geração e de transmissão de energia, os reajustes ocorridos ao longo de 2013 e 2014, bem como o alto custo da energia decorrente do uso contínuo de térmicas mais caras, contribuíram para que parte da redução média de 20% das tarifas não permanecesse. (TCU, 2014).

Na prática, ocorreram duas operações de crédito contraídas pela exposição involuntária de R\$ 17,5 bilhões pelas concessionárias, mas que será recolhido do consumidor um total de R\$ 26,6 bilhões por meio da tarifa de energia elétrica, refletida até 2017.

No que concerne às tarifas residenciais, projetou-se um acréscimo médio de 11% para 2014 e de 15% para 2015. Ao final do biênio, todo o efeito da MP nº 579/2012 já estará eliminado, uma vez que as tarifas residenciais em 2015, alcançarão o valor de R\$ 374/MWh, quando em 2012, tal valor era de R\$ 339/MWh. As tarifas industriais, que em 2012 estavam no patamar de R\$ 265/MWh, em 2015 chegarão a R\$ 276/MWh. (TCU, 2014).

5.6.7. A Resolução Normativa nº482

A Resolução Normativa nº 482 regulamenta o processo de aquisição de créditos na conta de energia elétrica para o gerador distribuído e introduz o conceito de *net metering* no país, visando ao incentivo à geração distribuída, principalmente através das fontes renováveis. Entretanto, esta medida normativa é apenas o início para criar um ambiente econômico e técnico para difusão da geração distribuída no Brasil, cenário oposto aos EUA e Europa, onde ao adentrar nos bairros residenciais é possível visualizar centenas e mais centenas de painéis fotovoltaicos. Portanto, é necessário avançar ainda mais neste mecanismo.

Conforme abordado nos capítulos anteriores onde foi descrito a regulamentação brasileira e da lei americana PURPA para geração distribuída nota-se que em termos de Brasil ainda há muito que se avançar em diversos aspectos.

No caso americano, nota-se claramente que o governo federal optou definitivamente pela busca de energias renováveis e pelo aumento da eficiência energética pela inserção de plantas de cogeração.

Obviamente, existem inúmeras diferenças e particularidades entre o setor energético brasileiro e americano, nem foi objetivo deste trabalho abordar estas diferenças, entretanto podem-se apontar alguns benefícios que a lei americana proporcionou ao seu setor e que poderiam ser obtidos no setor energético brasileiro se houvesse uma iniciativa de regulamentação semelhante:

- Melhor eficiência energética, na medida em que unidades de cogeração possuem menores perdas energéticas do que quando gera eletricidade e calor separadamente;
- Aumento da confiabilidade do sistema da concessionária, pela inserção de um maior número de fontes de geração de energia;
- Menor dependência energética da nação, pelo uso de fontes locais e diversificação da matriz energética;
- Menores prazos de construção e menores custos associados a licenças ambientais. O mesmo se aplica em relação a menores riscos associados a custos de construção e outros problemas decorrentes das implantações das usinas de geração;
- Aporte de capitais privados no setor energético e diversidade de empreendedores.

6. CONCLUSÃO

6.1.1. Grandes Hidrelétricas ou Geração Distribuída?

Esta pergunta não leva a uma resposta simples e direta, faz-se necessário avaliar a questão em todas as dimensões: tecnológica, econômica, ambiental e político-social, que se inter-relacionam. Alguns dos aspectos são facilmente mensuráveis e outros difíceis de contabilizar e confrontá-los em uma balança. Somado a isso, deve entrar nesta análise questões técnicas, sociais e econômicas e a complexidade do setor elétrico brasileiro.

De modo a resumir todos os aspectos abordados no capítulo 5 de geração de energia elétrica através de grandes hidrelétricas e através da geração distribuída, a tabela abaixo apresenta as principais informações.

Tabela 6.1 – UHE X GD: Resumo dos Aspectos

ASPECTOS		GRANDES HIDRELÉTRICAS	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA
TÉCNICOS	Tecnologia de Geração	✓ Hídrica (água dos rios).	✓ Térmica, Hídrica, Eólica, Solar Fotovoltaica, Células de Combustível, Sistemas Híbridos, Biomassa e Biogás.
	Fonte de geração	✓ Renovável.	✓ Não Renovável (fontes fósseis) ✓ Renovável (eólica, solar, biomassa e biogás).
	Modelo de Geração	✓ Planejada, operada e despachada centralizadamente.	✓ Planejada, operada e despachada descentralizadamente.
	Suprimento da Demanda	✓ Elevada capacidade de suprimento da demanda através de grandes UHEs; ✓ Faz-se necessário a complementariedade com UTE, nucleares e GD; ✓ Limitadas pela sazonalidade das chuvas e períodos de estiagem.	✓ Elevado potencial de geração no Brasil, principalmente por fontes renováveis; ✓ Permite a complementariedade com as UHEs; ✓ Limitadas pela sazonalidade dos ventos (eólica), da safra (biomassa) e do sol (solar fotovoltaica). ✓ Aumento da estabilidade do sistema elétrico, pela existência de reservas de geração distribuída; ✓ Atendimento mais rápido ao crescimento da demanda (ou à demanda reprimida) por ter um tempo de implantação inferior ao de acréscimos à geração centralizada e reforços das respectivas redes de transmissão e distribuição;

	Armazenamento de Energia	✓ Reservatórios para armazenar energia em períodos de estiagem.	✓ Baixa capacidade de armazenamento. Ex.: baterias; ✓ Fonte intermitente (eólica e solar).
	Conexão com a Rede Elétrica	✓ Perdas devido à transmissão e distribuição de energia elétrica.	✓ Riscos de ilhamento e incidências de harmônicos.
	Estado da Arte	✓ Excelente grau de desenvolvimento e um parque industrial desenvolvido no Brasil.	✓ Em diferentes estágios de desenvolvimento, dependendo da tecnologia.
	Perdas Elétricas	✓ Longas linhas a um custo de 17% de perdas	✓ Mínimas perdas, em virtude da fonte geradora estar próxima ao local de consumo.
	Riscos técnicos	✓ Elevado risco de falhas e sabotagem.	✓ Risco minimizado e compartilhado.
	Infraestrutura de Rede	✓ Através do SIN.	✓ Smart Grid (infraestrutura de redes inteligentes): tecnologia necessária para viabilizar a entrada de diversas fontes intermitentes de GD; de modo a otimizar a geração, distribuição e consumo de energia elétrica.
ECONÔMICOS	Investimentos	✓ Custo da energia mais barata; ✓ Atraem grandes investimentos; ✓ Baixo custo de operação e manutenção; ✓ Risco de perdas financeiras em virtude de atrasos na construção por motivo de tumultos, greves, etc.	✓ Geração de energia mais cara; ✓ Baixo custo de construção em comparação com a UHE; ✓ Redução dos investimentos para construção, inclusive os das distribuidoras durante o suprimento de ponta, dado que este passa a ser compartilhado ("peak sharing"); ✓ GD: Atendem localidades remotas que não possuem rede elétrica; ✓ Emprego da GD através da cogeração.
	Tarifas de Energia	✓ Para o consumidor cativo, o distribuidor é o fornecedor compulsório, com tarifa regulada, isonômica para uma mesma classe (A1, A2, A3 e A4); ✓ O preço é o resultante de um mix de contratos de longo prazo, com contratação de até 103% da carga e repasse de riscos de diferenças de preço entre submercados, do adicional de geração térmica quando despachada e do efeito da variação cambial nas tarifas de Itaipu.	✓ Para o consumidor cativo, a GD pode ser uma alternativa viável para fugir das tarifas do horário de ponta e acréscimos em virtude da utilização de UTE.
	Planejamento	✓ O consumidor cativo absorve incertezas e desvios no planejamento da EPE e da distribuidora. Participa do rateio dos custos da diferença entre geração programada e realizada (ESS) – ou seja, está exposto a riscos e não tem como gerenciá-los.	✓ Diminuição da dependência do parque gerador despachado centralizadamente, mantendo reservas próximas aos centros de carga; ✓ Ajusta-se melhor a taxas variáveis de crescimento da demanda, reduzindo ao consumidor de energia elétrica o risco associado a desvios de planejamento;

	Barreiras Econômicas	✓ Atualmente, vem enfrentando uma competição, principalmente com a geração eólica, que vem se tornando cada vez mais competitiva e atraente economicamente; ✓ Risco de perdas financeiras em virtude de atrasos na construção por motivo de tumultos, greves, etc.	✓ Estrutura tarifária atual das concessionárias não reflete de maneira correta a diferenciação dos custos de abastecimento nos diferentes períodos do dia e do ano; ✓ Interconexão com a rede elétrica demandam estudos de engenharia que ficariam a cargo do gerador; ✓ Informação de custos de modo a identificar as áreas de alto custo marginal pelas concessionárias.
AMBIENTAIS	Impactos Positivos	✓ Controle de inundações e melhorias na irrigação; ✓ Não provocam ruídos e emissão de gases tóxicos ou CO₂; ✓ Melhor gerenciamento dos níveis de água do rio;	✓ Uso adequado dos recursos renováveis e minimização dos impactos ambientais; ✓ Fonte eólica: Não emite gases tóxicos, de efeito estufa e ocupam pequeno espaço físico e permitem a continuidade de atividades produtivas; ✓ Fonte solar: Não emite gases tóxicos e de efeito estufa, não emite ruídos e ocupam pequeno espaço físico e permitem a continuidade de atividades produtivas; ✓ Biomassa/Biogás: oportunidade de geração de energia em reservatórios, aterros urbanos de grande apelo ambiental.
	Impactos Negativos	✓ Instabilidade de taludes naturais; ✓ Dinamização dos processos erosivos; ✓ Redução da área de solo; ✓ Alteração da qualidade da água e do microclima; ✓ Alteração na flora e na fauna Pantanização; ✓ Eutrofização; ✓ Emitem o metano em função da decomposição da vegetação submersa; ✓ Possibilidade de Lesões em cardumes nas proximidades do circuito hidráulico.	✓ Fonte térmica: Emissão de gases tóxicos, material particulado e gás do efeito estufa; ✓ Fonte eólica: Podem causar lesões a pássaros e morcegos, impacto visual relativo, ruídos e interferência eletromagnética; ✓ Fonte solar: utilização de produtos químicos e de um grande volume de água durante a fabricação, impacto visual relativo, baixo rendimento energético.
SÓCIO-POLÍTICOS	Impactos Positivos	✓ Irrigação; ✓ Pesca e produção pesqueira; ✓ Navegação, portos e rotas; ✓ Produção agropecuária; ✓ Recreação, lazer e educação ambiental; ✓ Surgimento de empregos em algumas atividades produtivas.	✓ Tende a ampliar o número de agentes geradores e participantes do setor elétrico, distribuídos regionalmente; ✓ Promove o desenvolvimento regional; ✓ Universalização do acesso a energia elétrica; ✓ Promove o desenvolvimento técnico e da mão de obra qualificada; ✓ Atende a nichos de mercado: lixo urbanos, eutrofização de reservatórios ✓ Estimula a competição, provocando a redução de tarifas elétricas.

	Impactos Negativos	✓ Inundação de núcleos urbanos; ✓ Migração de população; ✓ Risco de acidentes em locais próximos a barragem; ✓ Desemprego em algumas atividades; ✓ Inundação de sítios de interesses arqueológicos, cultural e paisagísticos; ✓ Especulação imobiliária.	✓ Instabilidades Macroeconômicas; ✓ Estrutura Tarifária das Concessionárias; ✓ Maior complexidade no planejamento e na operação do sistema elétrico; ✓ Maior complexidade nos procedimentos, regulamentações e na realização de manutenção, inclusive nas medidas de segurança a serem tomadas; ✓ Diminuição do fator de utilização das instalações das concessionárias de distribuição, o que tende a aumentar o preço.
--	---------------------------	---	--

Fonte: Elaboração do autor.

De um modo geral, acredita-se que a solução a ser perseguida é na verdade um *mix* entre as duas formas de geração de energia.

Considerando a demanda crescente de energia para os próximos anos no Brasil e que a política eficaz de planejamento de expansão de energia deve ser de médio em longo prazo em virtude da complexidade do setor, faz-se necessário, num primeiro momento, viabilizar a construção das grandes hidrelétricas já planejadas pela EPE, apesar de todos os impactos negativos que estes empreendimentos possam trazer. Portanto, consolidar a execução do PDE-2022 da EPE deve ser o objetivo a ser perseguido neste momento.

Governo, empresas do setor e principalmente a sociedade podem contribuir de forma proativa para que todos os riscos inerentes a estes grandes empreendimentos hídricos sejam mitigados e o resultado destas UHEs sejam os melhores possíveis, com mínimo de impacto possível.

Foi evidenciado nos aspectos tecnológicos e econômico que as grandes centrais hidrelétricas ainda possuem algumas vantagens competitivas frente a geração distribuída. Talvez o maior entrave seja na distribuição de energia elétrica e confiabilidade para atendimento da demanda crescente. Outra questão é referente a energia de reserva que é plenamente atendida por hidrelétricas, entretanto existe o crescente fornecimento de usinas sem reservatório.

Nos aspectos ambientais, o cenário não é promissor do ponto de vista da demora das licenças ambientais. Nos aspectos políticos, o lobby negativo da opinião pública apontados para os grandes projetos hidrelétricos e o *status quo* do petróleo brasileiro com o “pré-sal”, das grandes construtoras e das distribuidoras de energia. Entretanto são inegáveis os benefícios sociais que os grandes projetos hidrelétricos trazem.

Complementando esta estratégia, o governo deveria continuar provendo políticas de modo a acelerar o crescimento da geração distribuída através de leis de incentivo, redução de impostos nos equipamentos, tarifas de importação e tarifas especiais e atrativas, programas de financiamentos específicos para este segmento, capacitação de mão de obra especializada e principalmente corrigir as questões regulatórias de modo a alavancar o setor. Conforme descrito no capítulo 5.6, modelos para incentivo de geração distribuída de outros países como EUA (PURPA) ou de outros países podem ser adaptados e até melhorados para o Brasil.

No momento que as tecnologias de geração distribuída avançam, os custos dos projetos se reduzem consideravelmente, se tornando mais competitivos e atraentes para os investidores. Um entrave tecnológico está na conexão da geração distribuída com a rede elétrica e a questão das redes inteligentes ou *smart grid* que foi descrita no Capítulo 5.2. Faz-se necessário preparar “uma infraestrutura de rede elétrica em larga escala caracterizada por segurança, agilidade e resiliência / robustez que enfrenta novas ameaças e condições não previstas” (AMIN e WOLLENBERG, 2005); tornando o sistema de entrega de energia mais interativo e viabilizando a entrada de novas fontes geradoras descentralizadas, renováveis e intermitentes. A implementação da *smart grid* no Brasil avança de uma forma ainda tímida. Esta pode ser uma barreira da geração distribuída.

A oportunidade que surge nesta nova perspectiva futura é o redimensionamento do núcleo essencial dos serviços de energia elétrica tendo como parâmetro o postulado da centralidade do indivíduo nesse novo setor regulado, que agora passa a ter meios de estipular padrões de consumo e geração distribuída que reflitam suas escolhas de ordem político-econômica a respeito, por exemplo, da composição final de parcela da matriz energética brasileira. Essa possibilidade de adoção de uma postura proativa, mais que reativa, por parte dos usuários finais de energia, também, traz consigo as discussões sobre a responsabilidade social do indivíduo pelos padrões de consumo que se adota, fazendo-se cogitar sobre funcionalizações da energia elétrica.

As fontes renováveis devem ser o foco principal da expansão da geração distribuída. Mas a questão da intermitência e impossibilidade de armazenamento de energia deve ser sempre contabilizada no planejamento energético. Lembrando que o maior mercado consumidor brasileiro de energia elétrica localiza-se longe dos melhores locais de aproveitamento eólico e solar, ou seja, nas regiões Sul e

Sudeste, portanto a vantagem da diminuição das perdas em função das distâncias das linhas distribuidoras ainda é minimizada no contexto atual. Estimular o crescimento do consumo de energia elétrica nas regiões Norte e Nordeste, através do surgimento de novos centros residenciais, comerciais e industriais é uma medida que aproveitaria esta vantagem.

Fortalecer o mercado de repotenciação e reformas das UHEs em operação de modo a obter melhorias frente às tecnologias atuais como ocorrem atualmente nos EUA e Canadá é um caminho interessante a ser trilhado pelo setor elétrico.

6.1.2. Considerações Finais

Não é necessário criar novos encargos para o setor elétrico; basta redirecionar e reforçar os mecanismos existentes para fomentar a indústria de geração distribuída no Brasil, através da iniciativa privada.

O desenvolvimento tecnológico, desenvolvimento de mercado e a integração de políticas para as fontes de geração descentralizadas, de preferência renováveis, podem auxiliar o Brasil a consolidar a posição de destaque na economia de baixo carbono no setor de energia.

Em se tratando de consumidores comuns de energia elétrica, onde a geração solar fotovoltaica é a tecnologia alvo para entrar no segmento de geração distribuída, está possivelmente no mesmo estágio da energia eólica antes do PROINFA. Um programa de implantação comercial que incluísse um componente de fomento industrial para nacionalizar parte da cadeia de produção dessa tecnologia seria importante para a inserção dessa fonte no mercado e baratear os custos. Ainda, conforme se pratica nos EUA e Europa a possibilidade de realizar a venda da energia de diversas formas, como a venda garantida para concessionária mediante a tarifa *feed-in* ou se arriscar a vender no mercado livre por um preço mais alto, pode ser um caminho a ser trilhado. No Brasil, conforme descrito no capítulo 5.6, ainda não é possível realizar este tipo de comercialização da energia.

A alteração da estrutura tarifária necessária exigirá mais do que técnicas contábeis capazes de estabelecer uma maior aproximação do preço pago pelo consumo e os custos instantâneos de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. A tarifa paga pelo serviço de energia elétrica deve cumprir uma função pública, que é expressa pelas políticas setoriais expressas em normas ou em

programas do poder Executivo. Assim, além de estudos sobre as normas que disponham sobre a tarifação de “serviços públicos” em gênero e de serviços de energia em espécie, faz-se necessário um estudo sobre o conteúdo normativo das funções públicas a que se prestam as tarifas de energia elétrica, assim como sobre as formas de compatibilizar essas funções públicas com os benefícios da tarifação dinâmica.

De forma geral, a geração distribuída é uma alternativa viável e essencial de expansão de energia para o Brasil, entretanto ainda esbarra em algumas barreiras, tais como:

- Elevado custo de instalação da GD e da interligação elétrica à rede, que a princípio fica a cargo do proprietário da GD;
- Elevado tempo de amortização devido ao alto custo do sistema;
- Necessário avançar na implantação do Smart Grid;
- Possíveis variações da tarifa em função da taxa de utilização da interconexão;
- Deveria haver um complemento sobre a RN nº 482 de modo a permitir que o consumidor/gerador distribuído não somente adquirisse créditos na conta, mas que fosse remunerado pela geração de energia elétrica;
- Algumas tecnologias de GD apresentam-se inviáveis economicamente em alguns casos;
- Lobby do governo pelo “pré-sal”;
- Lobby por parte das grandes empreiteiras, grandes mineradoras, indústria do petróleo e concessionárias de energia.

7. BIBLIOGRAFIA

ACKERMANN, T.; ANDERSSON, G.; SODER, L. *What is Distributed Generation? International Symposium on Distributed Generation: Power System and Market Aspects*. Estocolmo. Suécia, Jun, 2001.

AMIN, S. M.; WOLLENBERG, B. F. *Toward a Smart Grid*. IEEE Power Energy Magazine, v. 3, n. 5, p. 34-38, set.-oct. 2005.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). *Resumo Geral dos Novos Empreendimentos de Geração*. Brasília: ANEEL, 2014.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). *Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica*. Brasília: ANEEL, 2008.

BRASIL. *Decreto Lei nº 5163, de 30 de julho de 2004*. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga das concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília. 2004. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5163.htm>. Acesso em: 24 de outubro de 2014.

BRASIL. *Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012*. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2012. Disponível em < <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 30 de outubro de 2014.

BRIGHENTI, CLAUDIA RODRIGUES FARIA. *Integração do Cogenerador de energia do setor Sucroalcooleiro com o setor Elétrico*. São Paulo. Dissertação de Mestrado em Energia da Universidade de São Paulo, USP; 2003.

BP – BEYOUND PETROLEUM. *Statistical Review of World Energy*. 2014.

CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. 2014. <http://www.cresesb.cepel.br> (acesso em 16 de outubro de 2014).

DE BRITO, OSÓRIO. *O Decreto Regulamentador do Novo Marco Regulatório Portal GD*. Rio de Janeiro, 30 de agosto de 2004. Disponível em <<http://www.portalgd.com.br/zpublisher/materias/default.asp?id=16026>>. Acesso em 27 de outubro de 2014.

DE ZORZI, ARNALDO. *Sincronização de Várias Instalações Fotovoltaicas a Rede de Distribuição Elétrica*. Monografia – Escola Politécnica da USP – Programa de Educação Continuada – PECE. 2013.

ECONOMIST, THE; 2004. *Building the Energy Internet*. <http://www.economist.com/displaystory.cfm?story_id=2476988>, acesso em 10/11/2014.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *PDE - Plano Decenal de Expansão de Energia 2022*. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2013.

EWEA – EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION. *Wind Energy Facts*. Disponível na internet via <<http://www.ewea.org/wind-energy-basics/facts/>> Consultado em 29 de outubro de 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Demográfico 2010*. <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>. 2010.

LAI, L. L.; CHAN, T. F. *Distributed Generation: Induction and Permanent Generators*. West Sussex, England: John Wiley & Sons, Ltda, 2007.

LORA, E. E. S.; ADDAD, J.. *Geração Distribuída: aspectos tecnológicos, ambientais e institucionais – Projeto “Oportunidades e Barreiras da Geração distribuída para a Distribuição de Energia Elétrica”*. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Programa Luz para Todos*. São Paulo: Makron Books, https://www.mme.gov.br/luzparatodos/Asp/o_programa.asp. Consulta em Dezembro de 2014.

MÜLLER, ARNALDO CARLOS. *Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento*. São Paulo: Makron Books, 1995.

ONS – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. *SIN – Sistema Interligado Nacional*. <http://www.ons.org.br>. 2014.

PAINULY, J. P. *Barriers to Renewable Energy Penetration: A Framework for Analysis*. Renewable Energy – Elsevier, Denmark, nº 24; 2000.

ROMAGNOLI, HENRIQUE C.. *Identificação de Barreiras à Geração Distribuída no Marco Regulatório Atual do Setor Elétrico Brasileiro*. Florianópolis. Dissertação de Mestrado em Energia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC; Março de 2005.

TCU – TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. *Sumário: Auditoria Operacional. Impacto da Medida Provisória Nº 579/2012 – Convertida na lei nº 12.783/2013 – Na conta de desenvolvimento energético - CDE e no Sistema Elétrico Brasileiro. GRUPO I – CLASSE V – Plenário TC-011.223/2014-6*. <https://contas.tcu.gov.br/juris/SvlProcesso?cod=51300858>. 2014

WILLIS, H. LEE; SCOTT, WALTER G. *Distributed Power Generation: Planning and Evaluation*. 10ª edição. New York: Marcel Dekker Inc.; 2000.

WORLD ENERGY COUNCIL. *New Renewable Energy Resources: Opportunities and Constraints 1990 – 2020*. London, Kogan Page. 1993.

VEIGA, JOSÉ ELI DA. *Energia Eólica*. São Paulo: Editora Senac São Paulo. 2012.