

REVISTA



SOLUÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DO PAÍS

VOLUME 5 - Nº51 - Março / 2010

ISSN - 1809-3957

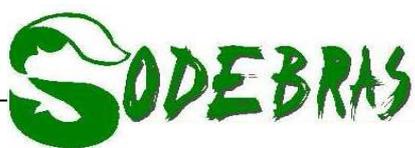
ARTIGOS PUBLICADOS

PUBLICAÇÃO MENSAL

Nesta edição

O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS – Jéferson L. Castilho e Teófilo Miguel de Souza2

CURVAS DE DESEMPENHO EM SISTEMAS DE MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – Adalberto de Araújo Barreto Filho e Teófilo Miguel de Souza 6



Atendimento:

contato@sodebras.com.br

Acesso:

<http://www.sodebras.com.br>



J.L.Castilho , Aluno especial, *Unesp*, Campus de Guaratinguetá e T. M. Souza, *FEG/UNESP*

—The article highlights the importance of an evaluation of the energy potential of the industrial waste that normally are sent to landfill and evaluate his use as an alternative source of energy.

Keywords - waste to energy, industrial waste, energy recycling

Resumo - O artigo destaca a importância de uma avaliação do potencial energético dos resíduos sólidos industriais que normalmente são encaminhados para aterro a fim de avaliar seu aproveitamento como uma fonte alternativa de energia.

Palavras chave - reciclagem energética, resíduos industriais, aproveitamento energético.

INTRODUÇÃO

geração de resíduos sólidos é um fenômeno inevitável que ocorre diariamente, ocasionando danos muitas vezes irreversíveis ao meio ambiente. A preocupação para com os resíduos é universal e vem sendo discutida há algumas décadas em todas as esferas. A responsabilidade pelo destino final dos resíduos é de quem os produz, devendo ser sujeitos a uma gestão adequada seguindo uma hierarquia de prevenção e redução da produção, seguida da valorização e, por último, a eliminação em aterro sanitário. O presente artigo visa destacar a importância de uma avaliação do potencial energético dos resíduos sólidos industriais, como uma importante FAE (Fonte Alternativa de Energia) podendo oferecer uma grande opção como fonte de energia térmica para ser aproveitada em utilidades industriais quer seja na produção de vapor ou ainda na produção de água gelada. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (PNSB/IBGE, 2000), dos municípios brasileiros, apenas 33% possuem 100% de serviços de limpeza e/ou coleta de lixo e, o restante desses resíduos, passa a ser disposto em locais sem o devido controle como lixões ou depósitos a céu aberto, por exemplo. Desta forma, a disposição final dos resíduos é um dos graves problemas ambientais enfrentados pelos grandes centros urbanos e a emissão descontrolada do biogás produzido na decomposição anaeróbica dos resíduos acarreta problemas ambientais e danos à saúde da população.

Coleta Seletiva

O primeiro passo para se obter o correto aproveitamento dos resíduos industriais é promover a implantação de um sistema de coleta seletiva e a partir daí fazer a classificação e a avaliação do aproveitamento energético destes resíduos. Os benefícios para a sociedade são imediatamente reconhecidos uma vez que estes resíduos passam a ser introduzidos na cadeia reversa, podendo gerar dividendos financeiros em processos de revalorização onde passam a servir como matéria prima para outros processos industriais, tornando-se uma importante fonte alternativa de energia e principalmente por não mais serem dispostos em aterros, prolongando assim a vida útil dos mesmos além de evitar a liberação de gases de efeito estufa. Finalmente fechando o tripé da sustentabilidade, vale lembrar que a gestão dos resíduos é uma atividade que utiliza intensivamente trabalho humano, cumprindo importante papel social na geração de empregos.

Reciclagem

Reciclagem energética é o nome atribuído a todo processo de geração de energia (elétrica e térmica) a partir da queima dos resíduos sólidos urbanos, por meio de processo industrial 100% limpo, que não agrida o meio ambiente. O presente trabalho propõe o estudo da viabilidade técnica e econômica da instalação de um modelo de reator pirolítico compacto com a possibilidade de ser alimentado com resíduos industriais sólidos de variadas dimensões que por dissociação pirolítica gere energia térmica como subproduto. Segundo CALDERONI (2003), as reservas de matérias-primas, sejam elas minérios ou petróleo, são finitas não apenas no mundo como um todo, mas, de modo diferenciado, em cada um dos países usuários. Assim, coloca-se, além da questão da disponibilidade (agravada pelo crescimento demográfico), também e das divisas necessárias à sua obtenção. Mesmo no caso de matérias-primas do reino vegetal (e.g. papel e celulose), verificam-se frequentemente dificuldades com relação à disponibilidade das áreas necessárias à manutenção de um sistema de manejo sustentável, ou outros requisitos (clima, acessibilidade etc.). A biomassa constituída de resíduos resultantes de processos industriais passa a ser uma interessante alternativa a ser considerada para geração de energia. No queima destes resíduos, o custo do calor gerado é reduzido, proporcionando um custo de insumo (vapor ou água gelada) mais

competitivo, muito embora apresente um baixo rendimento térmico em função da umidade e da heterogeneidade, este baixo rendimento, porém é compensado pela facilidade de obtenção do combustível a um custo mínimo.

Reatores Pirolíticos

Desde meados do século dezenove, com o advento da siderurgia, a pirólise do carvão é uma importante fonte de geração de gás combustível, hoje quase completamente restrita ao pré-aquecimento do ar dos fornos siderúrgicos. Durante as duas guerras mundiais, a falta de petróleo fez surgir um sem número de “gasogênios” para as mais diversas aplicações, seja pequenos reatores a carvão para uso em automóveis, as mais folclóricas e conhecidas, como grandes gasogênios industriais a carvão mineral e lenha. Esses reatores pirolíticos eram bastante rústicos e apresentavam diversos inconvenientes operacionais, sendo os mais conhecidos como os vazamentos de gás nos reatores a carvão, a presença de enxofre nos gases desses mesmos reatores, a geração expressiva de alcatrões e líquidos pirolenhos nos reatores a lenha, etc. Um caso de sucesso são os reatores pirolíticos a lenha capazes de dissociar completamente a celulose e a lignina, bem como as resinas e a umidade contida na madeira, proporcionando o completo aproveitamento da energia contida, como também um gás limpo utilizável em queimadores industriais para fornos e caldeiras, de combustão completa, isenta de resíduos tóxicos ou corrosivos. Com a expansão da produção de gás natural, formou-se uma cultura industrial onde o gás já não é um elemento estranho e restrito à siderurgia, mas uma fonte quase universal de energia. O último grande obstáculo para a geração de gás a partir de combustíveis sólidos renováveis, especialmente lenha de reflorestamento, bem como resíduos de construção, de movelaria e poda de árvores urbanas consiste no fato de que para um bom funcionamento os reatores dependiam de uma carga constante de combustível, com uma granulometria relativamente homogênea, fato que em função das conhecidas limitações da área de grelha, obrigam a um preparo prévio da madeira, seja em cavacos como para a indústria de celulose, seja em pedaços serrados, dificultando e encarecendo o manuseio e a estocagem.

Poder calorífico

O poder calorífico define-se como a quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão de uma unidade de massa da madeira (JARA, 1989). No Sistema Internacional o poder calorífico é expresso em joules por grama ou quilojoules por quilo, mas pode ser expresso em calorias por grama ou quilocalorias por quilograma, segundo BRIANE & DOAT (1985).

O poder calorífico divide-se em superior e inferior. O poder calorífico superior é aquele em que a combustão se efetua a volume constante e no qual a água formada durante a combustão é

condensada e o calor que é derivado desta condensação é recuperado (BRIANE & DOAT, 1985).

O poder calorífico inferior é a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após deduzir as perdas com a evaporação da água (JARA, 1989).

Pirólise:

A pirólise consiste na degradação térmica das moléculas orgânicas dos RSU na ausência de oxigênio (destilação destrutiva, destilação). A temperatura elevada (> 700 °C) favorece a formação de compostos gasosos simples, como hidrogênio (H₂), monóxido de carbono (CO) e metano (CH₄). Em contraste com os processos de combustão e de gaseificação, a pirólise é um processo altamente endotérmico, sendo necessário fornecer-lhe 2.6 a 4 MJ/Kg RSU.

Gaseificação:

A gaseificação consiste num processo de combustão parcial, no qual um combustível é deliberadamente queimado com insuficiência de oxigênio (ar, vapor, oxigênio puro), com produção de gás combustível rico em CO, H₂, CO₂, CH₄ e outros hidrocarbonetos, grandes quantidades de azoto (N₂), cerca de 53 %, e um resíduo sólido (coque e inertes originalmente presentes).

Queima de Resíduos

Os benefícios para as empresas e para a sociedade incluem o seguinte: impedir a libertação de gases com efeito de estufa como o metano para a atmosfera quando o resíduo é depositado em aterro, reduzindo assim o impacto sobre o aterro, reduzindo o volume dos resíduos, fornecendo uma alternativa à utilização do carvão, que impede a liberação de emissões, como óxidos de nitrogênio na atmosfera, e poupar os recursos naturais da terra, usando menos petróleo, carvão ou gás natural para geração de eletricidade e energia térmica.

Sendo assim, é importante avaliar a disponibilidade dos resíduos de podas, corte de gramado, varrição de ruas e dependências industriais, paletes e embalagens de madeira em geral e outras fontes que possam servir de combustível para a queima.

Resíduos Industriais

O lixo gerado pelas atividades agrícolas e industriais é tecnicamente conhecido como resíduo e os geradores são obrigados a cuidar do gerenciamento, transporte, tratamento e destinação final de seus resíduos, e essa responsabilidade é para sempre. O lixo doméstico é apenas uma pequena parte de todo o lixo produzido. A indústria é responsável por grande quantidade de resíduo – sobras de carvão mineral, refugos da indústria metalúrgica, resíduo químico e gás e fumaça lançados pelas chaminés das fábricas.

Os resíduos industriais são um dos maiores responsáveis pelas agressões fatais ao ambiente. Nele

estão incluídos produtos químicos (cianuretos, pesticidas, solventes), metais (mercúrio, cádmio, chumbo) e solventes químicos que ameaçam os ciclos naturais onde são despejados. Os resíduos sólidos são amontoados e enterrados; os líquidos são despejados em rios e mares; os gases são lançados no ar. Assim, a saúde do ambiente, e conseqüentemente dos seres que nele vivem, torna-se ameaçada, podendo levar a grandes tragédias. A manipulação correta de um resíduo tem grande importância para o controle do risco que ele representa, pois um resíduo relativamente inofensivo, em mãos inexperientes, pode transformar-se em um risco ambiental bem mais grave. Dentre as soluções para reduzir os efeitos nocivos ao ambiente encontram-se a incineração e a gaseificação, que de modo geral para qualquer resíduo, constituem soluções para atingir três objetivos: a) destruir os resíduos, descaracterizando-os e transformando-os em cinzas; b) reduzir drasticamente o volume de resíduos; c) gerar energia a partir de resíduos combustíveis. Esses três resultados constituem o grande mérito da incineração e da gaseificação, ou seja, além de minimizar os resíduos reduzindo sua periculosidade, podem gerar, a partir dos mesmos, energia térmica e/ou energia elétrica.

Princípios da Gaseificação

A gaseificação de combustíveis sólidos é um processo bastante antigo e é realizado com o objetivo de produzir um combustível gasoso, com melhores características de transporte, melhor eficiência de combustão e, também, que possa ser utilizados como matéria-prima para outros processos. Nos processos de gaseificação a matéria orgânica é transformada em gases cujos principais componentes são: CO (monóxido de carbono), CO₂ (dióxido de carbono), H₂ (hidrogênio) e, dependendo das condições, CH₄ (metano), hidrocarbonetos leves, N₂ (nitrogênio) e vapor de água em diferentes proporções.

Gaseificação Industrial

A energia química da biomassa pode ser convertida em calor e daí em outras formas de energia:

- Direta - através da combustão na fase sólida, sempre foi a mais utilizada
- Indireta - quando através da pirólise, são produzidos gases e/ou líquidos combustíveis.

O processo de produção de um gás combustível a partir da biomassa é composta por três etapas:

- Secagem - a secagem ou retirada da umidade pode ser feita quando a madeira é introduzida no gaseificador, aproveitando-se a temperatura ali existente, contudo a operação com madeira seca é mais eficiente.
- Pirólise ou carbonização - durante a etapa de pirólise formam-se gases, vapor d'água, vapor de alcatrão e carvão
- Gaseificação - é liberada a energia necessária ao processo, pela combustão parcial dos produtos da pirólise.

Assim, o processo de gaseificação da biomassa,

como da madeira, consiste na sua transformação em um gás combustível, contendo proporções variáveis de monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrogênio, metano, vapor d'água e alcatrões. Esta composição do gás combustível depende de diversos fatores, tais como, tipo de gaseificador, introdução ou não de vapor d'água, e principalmente do conteúdo de umidade da madeira a ser gaseificada.

Vantagens da gaseificação da biomassa:

- As cinzas e o carbono residual permanecem no gaseificador, diminuindo assim a emissão de particulados
- O combustível resultante é mais limpo e, na maioria dos casos não há necessidade de controle de poluição.
- Associada a catalisadores, como alumínio e zinco, a gaseificação aumenta a produção de hidrogênio e de monóxido de carbono e diminui a produção de dióxido de carbono.

Conclusões

Os aspectos das vantagens de viabilidade técnica, econômica e ambiental de um empreendimento encontram-se estreitamente relacionado com os benefícios que tal empreendimento trará para o ambiente e para sociedade, inclusive para o bom gerenciamento dos Resíduos Sólidos e de um Sistema Integrado de Reaproveitamento de Resíduos Sólidos. Desta forma, o aproveitamento energético dos resíduos sólidos oferece significativos benefícios econômicos, ambientais e energéticos. Oferece, portanto, possibilidades e vantagens na viabilização da recuperação e do uso energético do gás proveniente da queima dos resíduos sólidos gerados dentro da própria planta industrial onde estes resíduos são gerados, fazendo com que haja um ciclo fechado com aproveitamento máximo. Daí a importância de crescer a discussão em torno destas possibilidades e destacar a real necessidade de uma política para o uso do gás proveniente dos resíduos sólidos industriais buscando a eficiência energética e contribuindo para a diversidade da matriz energética e para a conservação ambiental

REFERÊNCIAS

- [1] PODER CALORÍFICO DA MADEIRA E DE MATERIAIS LIGNO-CELULÓSICOS Publicado na Revista da Madeira nº 89 abril 2005 pag 100-106. Waldir F. Quirino1; Ailton Teixeira do Vale2; Ana Paula Abreu de Andrade3; Vera Lúcia Silva Abreu4; Ana Cristina dos Santos Azevedo.
- [2] ENERGIA DE RESÍDUOS SÓLIDOS COMO MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO - Luiz Claudio Ribeiro Galvão, Marco Antonio Saidel, Fernando Selles Ribeiro, Miguel Edgar Morales Udaeta1-GEPEA - USP - Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo CEP: 05508-900 São Paulo - SP; tel: (11) 3091-5279 fax: (11) 3032-3595
- [3] POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E ILUMINAÇÃO A GÁS POR MEIO DO APROVEITAMENTO DE BIOGÁS PROVENIENTE DE

ATERRO SANITÁRIO – Pecora, V., Figueiredo, N.J.V.,
Coelho, S.T., Velazquez, S.M.S.G (2008)

- [4] Calderoni, Sabetai, “*Os Bilhões Perdidos no Lixo*”, 4.ed., São Paulo: Humanitas Editora/ FFLCH/ USP, 2003, p. 35.
- [5] JARA, E.R.P. O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1989. (Comunicação Técnica, 1797).
- [6] BRIANE, D.; DOAT, J. Guide technique de la carbonisation: la fabrication du charbon de bois. Aix-en-Provence, ÉDISUD, 1985. 180p.
- [7] Kraemer, Maria Elisabeth Pereira, “A questão ambiental e os resíduos industriais”
- [8] PNSB / IBGE - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico / Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Número de distritos com serviço de limpeza urbana e/ou coleta de lixo, por percentual de lixo coletado, 2000.
- [9] Acesso ao site [http:// www.abihpec.org.br](http://www.abihpec.org.br) / residuos/historico.html em 07/11/2009.
- [10] Acesso ao site <http://www.pollutionissues.com/Ve-Z/Waste-to-Energy.html> no dia 04-10-2009 as 19:49h
- [11] O que é poder calorífico – acesso ao site <http://www.mundoeducacao.com.br/quimica/poder-calorifico-combustiveis.htm> em 08/11/2009.
- [12] Jornal Ambientebrasil – <http://www.ambientebrasil.com.br> - acesso ao site em 08/11/2009.

5. Direitos autorais

Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído neste artigo.



A. A. Barreto Fº, UDESC - FEG/UNESP e T. M. Souza, FEG/UNESP

Resumo : As perspectivas da crescente incorporação de fontes não-convencionais de energia na matriz energética mundial encontram no Brasil um quadro promissor e merecedor de um planejamento adequado aos determinantes, orientações e advertências dos fóruns mundiais que tratam da questão energética. Avaliar as potencialidades energéticas renováveis, representadas por alguns energéticos prioritários, como Pequenas Centrais Hidroelétricas (inclusive Microcentrais e similares), Aerogeradores e Painéis Fotovoltaicos, considerando as possibilidades de integração ou de complementação em sistemas isolados – parcial, ou, inteiramente – é a proposta que se apresenta. Índices e fatores de desempenho ampliados – que considerem parâmetros e variáveis abrangidas – é uma forma, considerada, de análise global destes sistemas. Estudos das curvas de carga compostas, avaliação da “renovabilidade” e compatibilidade ambiental, são as ferramentas utilizadas numa abordagem primordial, para elaboração de uma metodologia, para a qualificação, quantificação, através de indicadores, do suprimento energético por múltiplas fontes.

Palavras-chave: Geração/Consumo de Energia; Sistemas Isolados; Eficiência Energética; Diversificação/Integração da Produção/Consumo de Energia.

Abstract: The perspectives of the growing incorporation of not-conventional energy sources in the world energy matrix find in Brazil a worthy and promising chart of an adequate planning to the determinants, orientation and warnings based on the world international forums that discuss the energy related issues. To asses the renewable energy potentials, represented by some priority energy sources, as Small Hydro Power (Micro Hydro Power inclusive and similars), Wind Power and Photovoltaic Panels, considering the possibilities of integration or of increasing in isolated systems – partial, or, entirely – is the proposal that is presented. Indices and factors of performance extended – that consider parameters and variables included – is a form, considered, of global analysis of these systems. Studies of the composed load curves, evaluation of the renewability and environmental compatibilization are the tools utilized in a first approach, to develop a methodology for the qualification and quantification by means of indicators of the energy supply generated through by multiple sources.

Keywords: Energy Generation/Consumption; Isolated Systems; Energy Efficiency; Diversify/Integration of the output of Energy.

I. INTRODUÇÃO

PROGRAMAÇÃO E INTEGRAÇÃO COMO RECURSO PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: EXPERIÊNCIAS/ESTUDOS DE CASOS – PERSPECTIVAS DE UMA ABORDAGEM FOCANDO O LADO DA GERAÇÃO EM SISTEMAS ISOLADOS OU PARCIALMENTE INTEGRADOS.

Os ganhos de eficiência global de um sistema de suprimento-consumo de energia elétrica – como um caso mais representativo e cada vez mais abrangente dos sistemas de energia (ou, como sistema progressivamente representativo do uso da energia e da produtividade econômica como um todo) – consideram dois fatores significativos dos seus desempenhos : o Fator de Capacidade, F_{cap} , - do lado da geração (suprimento) - e o Fator de Carga (demanda), F_{car} - do lado do consumo. O nível de aproximação dos valores unitários para estes fatores, ou, as suas taxas de incremento neste sentido, podem, objetivamente, fornecer um indicativo da tendência de ganhos ou aumento da eficiência energética global dos sistemas de energia.

Sendo os fatores unitários, meramente, pontos ótimos singulares nas suas projeções, apenas teóricos, ou referenciais de limite de eficiência teórica global máxima, as suas aproximações e as suas correlações, representam um indicador global, capaz de, por meio de abordagem analítica, ou projeção de planejamento, consistirem de ferramenta útil na busca de ganhos de eficiência energética – tanto para sistemas mais integrados (de médio e grande porte), como para sistemas distribuídos (de pequeno porte e isolados). As ociosidades, recíprocas destes dois fatores, sejam do lado da geração ou da demanda, constituem indicativos de desperdícios, de usos descoordenados de fontes e consumos, ou, indícios de caminhos de otimização a serem perseguidos.

II. CURVAS DE CARGA COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE DE DESEMPENHO

A tipicidade das Curvas de Carga, Fig.1, com a predominância de traçados sinuosos, quando não acidentados, com vales e picos distanciados e intercalados, influenciam e alteram, para baixo, os fatores F_{cap} e F_{cag} , mas, não introduzem apenas este aspecto indesejável. Implicam, também, em acionamentos e controles correspondentes às mudanças da derivada da curva de carga, com as respectivas

flutuações e desequilíbrios de reativos que, por sua vez, contribuem ainda para o decréscimo da eficiência energética. A análise dos picos, correspondendo a um necessário estoque de capacidade instalada, para uso apenas dedicado a um intervalo limitado do dia, pode subsidiar considerações pertinentes à amplitude de diversificação e integração de suprimento energético. Quando são selecionadas ou estabelecidas as alternativas de suprimento de potência de pico, sobretudo para sistemas distribuídos, de pequeno e médio porte, fontes múltiplas podem ser combinadas – para a obtenção de uma curva composta, para o mesmo suprimento, mais eficiente.

Curva de Carga Composta

Curva de Suprimento Composto : Fonte1 + Fonte2 + Fonte 3

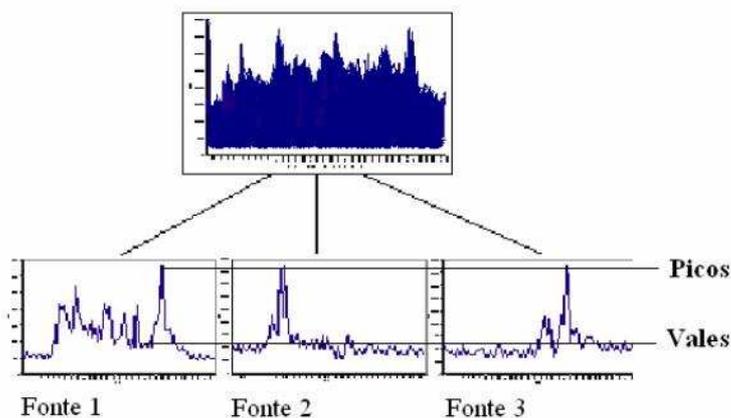
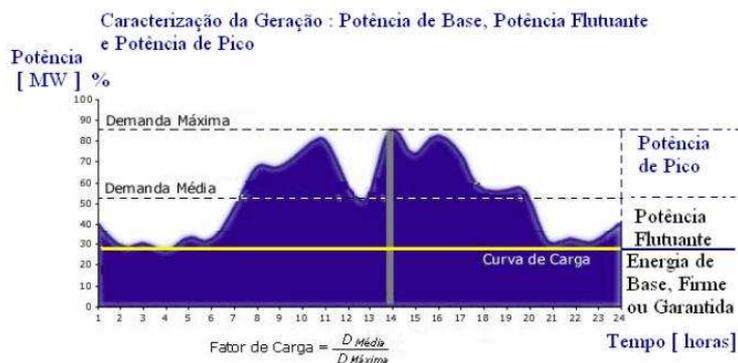


Figura 1 : Característica de uma curva de carga - Picos e Vales de solicitação de potência decorrem de usos descontinuados intercalando máxima solicitação e ociosidade

Um diagnóstico da Eficiência Energética setorial, no Brasil, deve preceder um levantamento das potencialidades de integração entre potência firme (de base, contínua e assegurada, na região predominante da curva de carga) e potências supridoras de picos – de onde se delimitará o universo específico do estudo, Fig. 2. Desta abordagem inicial, por conseguinte, será definida uma metodologia proposta para elaboração de um modelo de análise e avaliação (quanto ao desempenho, em termos de eficiência energética típica e comparada, além de indicadores de viabilidade) para sistemas isolados ou parcialmente integrados de produção/consumo de energia de pequeno porte. Delimita-se o estudo a um conjunto de casos – ocorridos ou em implantação no país. Sendo este o objetivo que se propõe, neste trabalho, como etapa inicial de elaboração de uma abordagem integrada de avaliação do desempenho geração/consumo no âmbito de uma eficiência energética global. Indicadores de desempenho que considerem a disponibilidade de fontes primárias, com o correspondente aporte e disponibilidade tecnológica (bem como os níveis de eficiência atual e projetada), haverão de considerar, além do desempenho operacional e técnico, no nível de exploração e disponibilidade atuais, considerações relativas aos impactos ambientais e perspectivas de evolução da participação de novos energéticos (para suprimento de pico e complementar). Como, também,

integração entre sistemas isolados e interligados, custos, eficiência energética, incrementos tecnológicos, eficiência econômica e impactos ambientais e sociais projetados.



As fontes de energia - componentes de um suprimento energético : (conjunto de unidades geradoras) podem ser classificadas conforme a participação, por disponibilidade e escalonamento de custos, suprindo : a) Energia de forma contínua, na Base; Energia variável (componente flutuante) hora e sazonalmente e energia de Pico, na máxima solicitação.

Figura 2

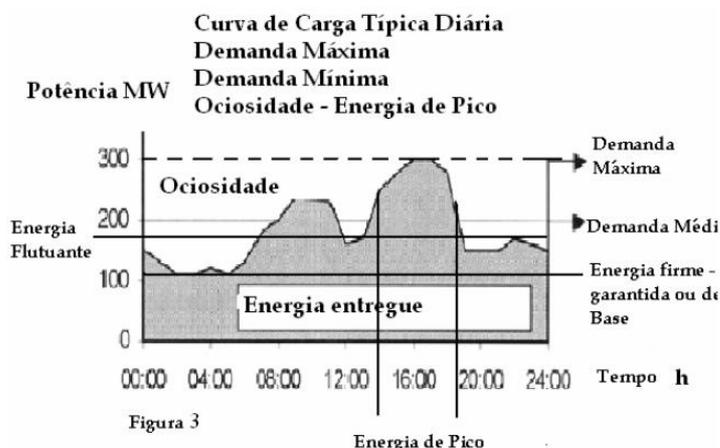
Desta forma, a partir de uma abordagem panorâmica da eficiência energética setorial no país, será possível identificar necessidades, potencialidades e oportunidades, em sistemas de pequeno porte, considerados como “sistemas com diferentes graus de integração à rede” e passíveis de incremento nas suas eficiências energéticas. Assim, selecionados casos (sistemas objeto de estudos mais detalhados), será possível a constatação de aspectos promissores de aumento da eficiência, bem como a proposição de incremento da eficiência energética global, a partir da integração de fontes e otimização do consumo (ganhos de eficiência das cargas individuais, programação e coordenação do consumo). Critérios físicos, geográficos, tecnológicos (ferramentas da engenharia da área), econômicos, sociais e políticos - como aspectos estratégicos relativos a impactos ambientais, sensibilidade e resposta em termos de incremento significativo e rápido de ganhos de eficiência, divulgação e disseminação de resultados - serão considerados.

A literatura referencial constitui-se de textos técnicos especializados sobre o tema – levantamentos, análises e experiências institucionais – bem como periódicos científicos, boletins, informes técnicos, relatórios oficiais, artigos científicos (congressos da área, seminários e encontros temáticos na área) e similares. O caso do suprimento energético no estado do Mato Grosso, via implantação de uma rede de Pequenas Centrais Hidroelétricas, PCH's, é ilustrativo, sendo considerado um dos mais eficientes usos de recursos renováveis, até então implantados, o que o tem referenciado como um modelo em nível mundial [11].

2.1 ANÁLISE DE CURVAS DE CARGA DE SUPRIMENTO DE FONTES MÚLTIPLAS

Quando representado o consumo de energia, para um conjunto de consumidores – desde um bairro, área isolada, comunidade rural, município, estado, região,

ou mesmo um país (e numa abordagem cada vez mais presente, o consumo aproximado de todo o planeta) – a curva que descreveria a máxima eficiência, ou de mínimo custo, seria a de uma reta horizontal, representando o “*suprimento pleno e consumo ótimo*”, destes consumidores, Fig. 3.



O suprimento pleno e o consumo ótimo ocorre com uma curva plana, no caso se a potência de suprimento fosse constante $P = \text{Demanda média}$, quando toda a energia solicitada é suprida em condições de custos mínimos. Na verdade busca-se uma aproximação desta curva, suavizando-se os acíves e declives.

Os recursos de otimização, ou de aplainamento – definido tecnicamente pela expressão *modulação*, correspondendo a uma suavização, ou horizontalização (flat) da curva – buscam atingir os resultados operativos, seja em nível de distribuição e/ou geração, ou, do sistema como um todo, através dos recursos :

- Eliminação de picos e vales.
- Ajuste e deslocamento do consumo (cargas) no tempo.
- Eliminação da aglutinação de consumo em certos horários e ociosidade em outros (direcionado para grandes consumidores).
- Regulação - tarifária restritiva, correspondendo à tarifação diferenciada ao longo do dia.
- Regime horo-sazonal : períodos anuais diferenciados, conforme o regime pluviométrico, critérios tarifários estimuladores de consumo em intervalos do dia de baixa solicitação geral (madrugada), horários de verão.
- Restrição de consumo : racionamento compulsório, via limitação de consumo, multas – em situações críticas de perda do controle da operacionalidade plena.

Do ponto de vista da geração, sempre que não se estabeleça a condição ideal, busca-se uma solução desejável, ainda que como meta, factível, contudo, a ser realizada com os recursos e condições disponíveis. Estocar o mínimo de energia – seja por qualquer das formas (fontes energéticas) - ou, de outro modo, estabelecer e operar na mínima ociosidade, é o horizonte a ser alcançado, como eixo do planejamento

– neste trabalho, especificamente, focado do ponto de vista do suprimento.

Do ponto de vista global alguns indicadores econômicos procuram identificar o estado, ou grau, de aproximação – seja numa abordagem mais delimitada para um dado período, estática, ou numa projeção levantada para períodos futuros (planejamento plurianual - planos institucionais) [4], [19], [21] e [22], conforme cenários hipotéticos estimados, neste caso, dinâmica – da condição de *suprimento pleno-consumo ótimo*. Um dos principais é a *Elasticidade*, que exprime a sensibilidade da demanda (consumo solicitado), ou oferta (energia disponibilizada), em face do aumento dos preços, e ainda a elasticidade-renda do consumo - que exprime o grau de demanda ou oferta reprimida em função da variação da renda. Tais índices dão uma medida do grau de equilíbrio no equacionamento dos componentes e fatores que definem as quantidades produto(serviço)-preço-demanda-consumo e são instrumentos de avaliação e projeção de cenários, usados no diagnóstico de um dado instante, de um dado sistema suprimento-consumo - ferramenta, indispensável, portanto, no planejamento [13]. As características do produto (serviço) e o respectivo consumo de energia é particularmente sofisticado e complexo, tendo profunda interações com, praticamente, todos os demais produtos e relações econômicas e sociais – exceto talvez para comunidades à parte dos sistemas sociais típicos deste século XXI. Daí, a existência de várias correlações (e cointegrações) entre índices, indicadores e tendências, envolvendo um vasto número de variáveis nas equações de solicitação-suprimento de energia [24]. De qualquer forma, produto-serviço sujeito às mesmas análises e ferramentas gerais do arcabouço da micro-economia e macro-economia, ainda que pesem as ferramentas de análise específica (curvas de carga, disponibilidade energética em face do insumo tecnológico, entre outros). Sujeito, portanto, às simulações decorrentes dos recursos então disponíveis. Planos Plurianuais – projeções de tendências e estabelecimento de metas, a partir das análises de dados estatísticos compilados (séries históricas) – tais como o Plano Nacional de Energia, são exemplo do emprego de ferramentas típicas no planejamento na área.

III. CONSIDERAÇÕES SOBRE TENDÊNCIAS HISTÓRICAS GERAIS – RECENTES

A constatação da drástica dependência do petróleo, havida com os choques do petróleo ... “(...) uma série de eventos no fim de 1973 revolucionou a indústria do petróleo mundial. Em alguns meses, os treze membros da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) mais que quadruplicaram o preço, em dólares, do barril do petróleo bruto (o preço foi de US\$ 2,59 para US\$ 11,65). Os países exportadores de petróleo ficaram ricos (...) quase que da noite para o dia [pois a receita auferida com a exportação de petróleo aumentou consideravelmente], (...)”[17]. Na década de 70 passada, embora se tenha apontado para a necessária percepção das graves implicações e risco daí

decorrentes, não se modificou uma tendência, ainda crescente, de aumento dos usos de fontes de energia fósseis, e o estabelecimento de sua predominância na matriz de consumo mundial. O reconhecimento da finitude das reservas conhecidas e das prospectáveis apontam, inexoravelmente, para a relação *incremento tecnológico–custo/ benefício*, um estado determinável, correspondente ao esgotamento das fontes, hoje, economicamente viáveis. Do que é possível delinear três etapas que decorreram da brusca elevação dos preços do petróleo, na década de 70: Num primeiro momento houve um sensível e considerável incremento dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento, voltados para a busca de alternativas energéticas; seguiu-se uma relativa acomodação, onde novas técnicas de exploração e prospecção deram alento à permanência da predominância do uso de fontes energéticas fósseis por mais tempo – ao lado da constatação da interferência climática produzida pelo nível atual, agravantemente crescente, deste estilo de consumo humano; por fim, os fóruns mundiais WEC, WEO, entre outros, [28], [29], hoje recrudescem na temática da necessária redução do uso de energéticos poluentes, da finitude das reservas petrolíferas, na necessária substituição e integração de fontes energéticas por alternativas sustentáveis, limpas e economicamente, não só viáveis, mas, significativas - em termos de acesso generalizado para todo o planeta (nas diferentes escalas de intensidade e diversidade de fontes e usos). Tal ímpeto se traduziu em inovações e aplicações crescentemente mais eficientes – sistemas não convencionais, tais como novos aerogeradores controlados por eletrônica de potência, painéis solares com custos-índices de energia decrescentes, biocombustíveis renováveis - em escala de consumo crescente - além de incremento no rendimento e operabilidade de sistemas distribuídos, como Pequenas Centrais Hidroelétricas, PCH's e células combustíveis [18] - onde a produção de eletricidade pode ser obtida a partir de combustíveis renováveis ou não - cada vez mais competitivos. Fontes estas que, com a incorporação de novas tecnologias, em diversos graus de intensidade, integram-se às matrizes energéticas como energéticos complementares ou, mesmo, promissora, substitutos dos combustíveis fósseis ou não-renováveis. Decorre daí o enfoque fundamental deste trabalho: alguma contribuição na busca por ganhos de eficiência e qualidade, de forma distribuída, nas diversas fontes e sistemas de produção de energia, por um lado, e a busca do estabelecimento de usos racionais e eficientes, por outro, no que diz respeito ao consumo. Surge, portanto, a necessária abordagem de integração, programada, como recurso de planejamento, da incorporação de novos energéticos, ao lado, do seu uso racional, priorizando as periferias das grandes redes de suprimento de energia elétrica, ou os sistemas isolados (totalmente isolados ou parcialmente interligados à rede).

IV. OS EVENTOS E EXPERIÊNCIAS DE PLANEJAMENTO NO BRASIL NA ÁREA DE SISTEMAS ENERGÉTICOS ALTERNATIVOS

ISOLADOS OU PARCIALMENTE INTEGRADOS-INTERLIGADOS

No Brasil, da mesma forma, e em grau muitas vezes incipientes de investimentos, quando comparados com os aportes dos países industrializados, foram destinados recursos para o desenvolvimento de sistemas energéticos com diversas escalas de integração [26]. Algumas instalações e implementações experimentais mereceram especial atenção dos meios acadêmicos, entre as quais :

- Desenvolvimento de protótipos de aerogeradores, família DEBRA – [26]. Infelizmente, devido à insuficiência de estrutura e recursos continuados de pesquisa, não chegou a propiciar soluções competitivas ou assimiláveis pela produção industrial em larga escala. Mas, todavia, contribuiu para levantamentos e mapeamentos iniciais do potencial elétrico-eólico do país e contribuiu com experimentação em escala isolada, mas viável, como o suprimento energético da ilha de Fernando de Noronha [12].
- Ilha Energética de Gravatá , projeto iniciado em parceria internacional, no estado de Pernambuco [12]. A escala reduzida e a implantação não continuada (e nem concluída), obstacularam maiores repercussões da implementação experimental, contudo, ensejou constatações válidas sobre os necessários recursos tecnológicos para a condição de operabilidade, economicamente viável, para a auto-suficiência energética de uma comunidade de dezenas de residências - em condições de isolamento ou parcialmente integrada à rede de distribuição elétrica convencional.
- Morro do Camelinho. No esteio de corredores de ventos, correspondeu a um projeto pioneiro em implantação de aerogeradores e levantamentos de dados de potência, disponibilidade, características dos ventos, em Minas Gerais [8].
- Comunidades isoladas, em localidades da região norte do país, como a implementação de projetos de integração de suprimento, tais como: o da Comunidade de São Tomé, Praia Grande; Comunidade Tamaruteua e Comunidade Joanes, na Ilha do Marajó, estado do Pará - consistindo de sistemas híbridos, típicos de localidades isoladas (geração Eólico-Solar e Diesel, integrados, através de sistemas de gerenciamento de cargas, em conformidade com as disponibilidades instantâneas das fontes, de forma interligada), [5] e [6].

Dentre os programas de maior fôlego, implantados no Brasil, para ampliação do acesso à energia de grandes parcelas dos habitantes do meio rural, que ainda não

dispunham de energia, os programas “Luz para Todos” e “PROINFA” [19], [22], visam, através da implantação de PCH’s e Geração Eólica, suprir, através de novos energéticos - de forma renovável e ambientalmente compatível - sanar uma grande carência de um insumo indispensável (e necessário de expansão, em grandes áreas do território nacional). Junto com a ampliação do mapeamento do potencial Solar e Eólico do Brasil [1], [2], [3], sistemas não convencionais, de maior porte, viáveis e competitivos, como o 5º maior parque eólico do mundo e o maior da América Latina – o parque Eólico de Osório, RS – com 75 aerogeradores de 2 MW (potência nominal de cada uma das unidades), interligado à rede elétrica, com Fator de Capacidade em torno de 30% (um dos maiores do mundo, entre os sistemas sediados em terras continentais).

O que se constata com a implantação de, pelo menos, duas grandes unidades de produção de aerogeradores no país, de tecnologia originária da Alemanha, Wobben-Enercon - uma em Sorocaba, SP e outra em Fortaleza, no Ceará - é a necessidade de desenvolvimento e apropriação de tecnologias pelo parque fabril do país. As duas unidades fabris da fabricante de grande aerogeradores, Wobben, tem mais de 30% da sua produção voltadas para a exportação. Sendo, portanto, vasto e promissor o campo, seja para a implantação de fazendas no território nacional - nas regiões mais propícias e de maior potencial eólico constante, ou, para pequenos sistemas isolados. Acrescido, ainda, pelo fato de que, em grandes áreas do interior do Brasil o acesso à energia é um marco definidor da viabilidade da ocupação humana de forma viável e produtiva. Decorrendo desta oportunidade de suprimento energético a única forma de passar do extrativismo predatório, em áreas de matas e de desmatamento recente, para um uso racional, integrado e eficiente dos recursos energéticos e econômicos disponíveis nestas vastas áreas. O uso de um planejamento que considere as tecnologias disponíveis e os potenciais locais aproveitáveis pode aproximar a sustentabilidade e a compatibilidade ambiental, através da implantação de sistemas energéticos nestas regiões, com as seguintes características :

- Fonte renovável;
- Geração próxima do consumo;
- Sistema flexível (interligado ou não a uma rede elétrica convencional existente ou a ser implantada);
- Interligável (capaz de se interligar a sistemas locais com fontes diversificadas ou a sistemas remotos – média e curta distâncias – no que seria uma rede rural local).

Merecendo a constatação de que mesmo sistemas caracterizados como zonas rurais, próximos dos grandes centros urbanos, ou, situados na periferia destes centros, projetam um suprimento complementar, alternativo (não convencional) ou não, quando se consideram as projeções do crescimento do consumo urbano e cercanias nos planos plurianuais de planejamento. Sem desconsiderar que a geração de

energia em grandes usinas, com grandes reservatórios, cada vez mais remotos e os seus sistemas de transmissão correspondentes, já encontram resistência jurídico ambiental capaz de provocar, no mínimo, atrasos e comprometimento nos cronogramas de implantação de novos empreendimentos do gênero. Sobretudo, em áreas potencialmente conflituosas - a exemplo do atraso na implantação da última grande Hidrelétrica no Sudeste, UHE de Porto Primavera, com atraso de mais de 14 anos em sua construção, ou nas contendas ambientais - como as que envolvem o licenciamento ambiental nos projetos hidrelétrico do Rio Madeira (Usinas de Jirau e Santo Antônio). Os custos de suprimento energético dos grandes centros, distantes das grandes unidades geradoras, tendem a incorporar custos crescentes, entre os quais:

- Custo da geração hidroelétrica crescente : ambientais, de oportunidade - ambos crescentes - pela prioridade histórica que com que se realizam, primeiro os aproveitamentos mais viáveis e pelo rigor crescente na mensuração dos custos ambientais (por exemplo, conta de carbono).
- Custo crescente da transmissão - devido ao crescimento das distâncias entre a geração e os centros consumidores.
- Custos de distribuição, com os correspondentes requisitos e recursos operacionais de gerenciamento de cargas integradas - observe-se, ainda, que é considerável o custo de perdas por roubo de energia nas periferias das grandes áreas metropolitanas do país.
- Custos de compatibilização ambiental crescente – como, por exemplo, os de projetos ambientais, como o que deve garantir a migração dos peixes ao logo dos rios, apesar das barragens, e preservação da fauna e flora preexistentes.

A questão ambiental tem merecido uma atenção crescente no país o que gera incertezas quanto aos obstáculos, representados pelas ações político-judiciais das organizações ambientalistas, ou de defesa de direitos arraigados, como o Movimento dos Atingidos pelas Barragens, MAB. Não sendo possível avaliar, com precisão, os impactos que podem significar, como obstáculos, na implantação de aproveitamentos críticos ou que promovam grandes mudanças geográficas e físicas – em locais onde são promissoras, do ponto de vista técnico e econômico. Por outro lado, não se viu no Brasil, desde a ECO-92, e os seus desdobramentos, como a Agenda XXI, um movimento tão intenso de identificação da imagem do país com a ecologia como o que se projeta para o evento em 2014, com a Copa Mundial de Futebol, por aqui designada como a copa verde - para realçar e diferenciar as potencialidades da sustentabilidade energética e compatibilidade ambiental do país.

V. PERSPECTIVAS E OPORTUNIDADES DE SUPRIMENTO INTEGRADO EM SISTEMAS ISOLADOS OU PARCIALMENTE INTERLIGADOS À REDE.

A projeção de suprimentos integrados em redes rurais [15], é a alternativa contraposta à implantação das aventadas usinas nucleares - em torno de 50 [14], até metade do século. Os parques eólicos, como o de Osório, no Rio Grande do Sul, assim como os menores, como o de Palmas, Paraná e o do Morro do Camelinho, Minas Gerais, entre outros - principalmente na região nordeste do Brasil - já permitem projetar o espaço, significativamente crescente, que estes energéticos representam, como insumo viável, para a matriz energética brasileira.

A análise das curvas de cargas de conjuntos de consumidores passíveis de suprimento energético por aerogeradores - numa configuração de tamanhos e quantidades correspondentes ao potencial, regime dos ventos e condicionamentos definidos pelos parâmetros de cada projeto específico - fornecem os requisitos desejáveis a serem supridos por estas fontes. Ocorrendo, em muitos casos, a complementaridade, pois, em regiões de alto potencial, como o litoral do nordeste do Brasil - principalmente, da costa do estado do Rio Grande do Norte até a costa do Maranhão (os regimes de ventos mais favoráveis do país), e, por conseguinte, o maior fluxo de energia disponível nas centrais eólicas - ocorre no horário correspondente ao de maior solicitação, horário de ponta da curva de carga. Verificando-se, com isto, a complementaridade com os regimes hídricos das mais importantes bacias hidro-energéticas do nordeste, Fig. 4. O que corresponde a um efeito de operacionalidade altamente desejável, incidindo, significativamente, sobre a redução do custo médio de operação e custos-índices de potência e energia médios. O que é acentuado, para esta mesma região, por exemplo, pelo fato dos ventos mais favoráveis, mais constantes e de maior velocidade - maior potencial energético disponível, por conseguinte - ocorrem no período sazonal de menores precipitações. Ou seja, a compatibilidade horo-sazonal de sistemas eólicos e sistemas hidrelétricos é um recurso correspondente a um efeito multiplicador de seu significado, em termos de operacionalidade, custos e suprimento energético renovável.

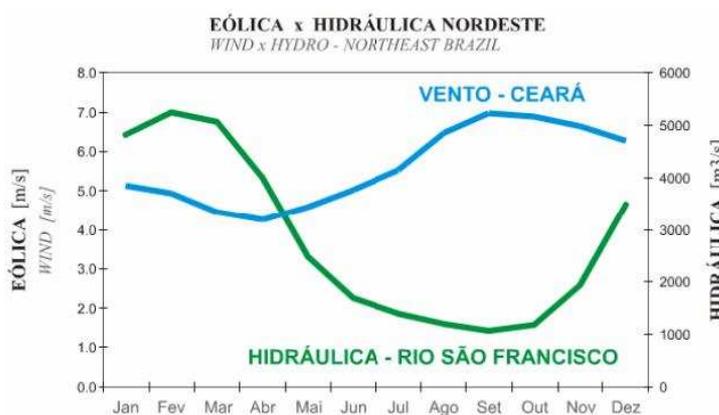


Figura 4 - Complementaridade dos regimes sazonais de ventos e pluviométricos - principais bacias hidrográficas - na região nordeste do Brasil.

Fonte : Atlas do Potencial Eólico Brasileiro [3].

VI. ANÁLISE DE OPORTUNIDADE: SUPRIMENTO RENOVÁVEL, COMPLEMENTARIDADE E INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS.

As curvas de carga sazonais exprimem o suprimento energético no tempo, e, quando expressas de forma consolidada, representam as fontes com as suas respectivas participações - bem como a evolução das suas parcelas de contribuição. Com isto registram o atendimento da demanda, seja de um dado período, ou, de cenários projetados. A discriminação das características das fontes tende a classifica-las em, Fig. 2 e 3 : a) Componente de Energia Firme, ou assegurada - constante em todo o período (diário, sazonal ou anual); b) Componente de Energia Flutuante - variável conforme a disponibilidade (anual, sazonal ou anual) e c) Componente de Energia de Ponta, ou de Pico, correspondente à confluência das diversas modalidades de consumo, residencial, industrial, comercial, iluminação e outros, incidente, criticamente, sobretudo, nas curvas de cargas diárias - nos horários de pico, entre 17h00 e 21h00 (variável conforme disposições locais das concessionárias dos serviços de energia e estipulados por dispositivos legais). Porém, variações sazonais de quantidade e duração da potência de pico são observáveis e merecedoras de destaque, como item crítico do planejamento do suprimento energético.

Assim, pois, considerando um horizonte de décadas, no que diz respeito à geração proveniente das fontes convencionais - que no Brasil é composto de um mix de Hidroelétrica (Grandes, Média e pequenas centrais, em torno de 80%); Termelétrica (Petróleo, Carvão, Gás e Nuclear, entre 15% e 19%), o restante correspondente à Eólica e outras novas fontes (promissoras e em franca expansão aqui e no mundo) - mesmo que não haja perspectivas de drástica e radical substituição, haverá mudanças. Usos complementares, ambientalmente atraentes e técnica e economicamente viáveis e competitivos de fontes novas, aumentarão paulatinamente as suas participações, seja na expansão, substituição ou eficientização do suprimento energético global.

Regiões remotas, distantes da rede elétrica convencional, ou insulares, como Fernando de Noronha e ilhas da costa brasileira, correspondem não só a espaços prioritários para implantação destes novos energéticos [18], assim como, também, as periferias urbanas ou fronteiras de expansão econômica, eficientes e competitivas, no imenso território nacional - que representam não só atratividade crescente, como terão, nestes sistemas, a única disponibilidade eficaz, através do aporte de tecnologia adequadas e eficientes para a exploração dos energéticos não convencionais, limpos, sustentáveis e ambientalmente competitivos.

VII. POTENCIALIDADES

Desta forma, as qualidades e oportunidades correspondentes aos sistemas energéticos não convencionais em expansão, para a aplicação em curto e médio prazos no Brasil, podem ser enumeradas:

- Complementação de suprimento – em regime horo-sazonal específico de cada sistema (localidade, espaço geográfico determinado);
- Suprimento em condições geográficas indisponíveis às redes elétricas convencionais;
- Ampliação do acesso ao consumo e do consumo com menos impactos e ambientalmente compatível e renovável - propiciados pelos incrementos tecnológicos e ganhos de eficiências em desenvolvimento, atualmente.

VIII. FERRAMENTAS DE ANÁLISE E METODOLOGIA

Dentre as contribuições mais relevantes das fontes renováveis de conteúdo tecnológico e viabilidade técnica e econômica garantidas, ou verificáveis, competitivas, portanto, as passíveis de **integração e complementação** - com condições de horosazonalidade atraentes e promissoras - são das mais expressivas. De uma forma geral, pode-se enumerar as modalidades de integração e participação destes sistemas, entre os seguintes :

- Modulação das curvas de carga - complementação, suavização ou aplainamento das curvas, sobretudo nos horários de pico;
- Transformação/Modulação da matriz energética – com diminuição dos estoques de energéticos não renováveis e a incorporação de energia renovável, limpa, reciclável e de custos, primordialmente ambientais, decrescentes.
- Ampliação do consumo sustentável no mix energético - com o desenvolvimento e introdução de tecnologias compatíveis com a exploração destas novas fontes e a correspondente implementação de ganhos de operacionalidade técnica eficaz (através dos sistemas de controle e distribuição de cargas eficientes – eletrônica de potência dedicada aos sistemas distribuído de geração de energia), com a correspondente agregação de valor aos produtos e aos sistemas produtivos isolados, como um todo.
- Mudança de hábitos com a incorporação da participação crescente dos consumidores na busca de ganhos de eficiência, através da otimização do consumo e escolha de equipamentos mais eficientes, usos programados e tarifação diferenciada

O que pode ser implementado através de análises de sensibilidade das curvas de carga, em face das alternativas e compatibilidades verificáveis entre os sistemas, seja os já existentes (para complementação) ou os que podem ser incorporados.

Na busca por um suprimento-consumo eficiente e otimizado as análises contam, entre outras, com as ferramentas selecionadas:

Fator de carga, F_{car} , é a razão entre a energia elétrica consumida por uma carga durante um determinado intervalo de tempo e a energia elétrica que seria consumida caso a carga operasse com sua potência instalada durante esse mesmo intervalo de tempo. O fator de carga é expresso por:

$$F_{car} = \frac{\text{Energia Fornecida num intervalo } T}{\text{Potência}_{m\acute{a}xima} \times T}$$

Fator de capacidade, F_{cap} , é a razão entre a energia elétrica efetivamente gerada por um sistema durante um determinado intervalo de tempo e a energia elétrica que seria gerada caso o sistema operasse em sua potência nominal durante esse mesmo intervalo de tempo. O fator de capacidade é expresso por:

$$F_{cap} = \frac{\text{Energia Gerada num Intervalo } T}{\text{Potência}_{m\acute{a}xima} \times T}$$

Modulação de uma curva de Carga, é o grau, ou nível de aplainamento, ou de horizontalização que se obtém por deslocamento dos picos e vales, de forma a uniformizar o fornecimento de energia.

Intensidade Energética, I_E , é a razão entre a energia consumida, num processo, ou, por uma população e o benefício produzido (realizado), ou PIB, obtido com o consumo desta energia.

A intensidade é expressa por :

$$I_E = \frac{\text{Energia Primária Consumida}}{\text{PIB}}$$

XIX. PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA DEFINIÇÃO E OBTENÇÃO DE FATORES AGREGADOS : FATOR DE EFICIÊNCIA GLOBAL

Considera-se, como primeira etapa do desenvolvimento da metodologia proposta, a definição de um conceito: **Fator de viabilidade global** de um dado energético, F_{vg} , ou de um conjunto de energéticos (fontes de suprimento) – **Fator de viabilidade conjunta global** -, F_{vcg} , para o suprimento de uma carga, ou sistema de consumo - composto de um determinado conjunto de consumidores.

Orienta-se, como segunda etapa, a análise para sistemas isolados, ou, parcialmente integrados à rede de suprimento elétrico convencional.

Define-se, então, alguns fatores :

Custos-índices de referência, C_{ir} , que se exprime em duas formas: Energia: C_{ire} , medido em unidades monetárias/unidade de energia disponibilizada; ou, de Potência, C_{irp} , medido em unidades monetárias/unidade de potência disponibilizada. Utilizados como indicadores comparativos de viabilidade, ou oportunidade, entre sistemas de geração de energia.

Fator de Integrabilidade, f_{int} , que mede a propriedade de complementação da energia suprida por um dado energético (representada pela sua curva de carga), em relação ao conjunto das demais cargas complementares utilizadas - para o suprimento com fontes múltiplas - para suprir o conjunto de cargas as quais esteja incorporado. A sua definição e uso visam obter uma modulação orientada para a uniformização da carga (máxima eficiência, ou F_{cap} e F_{car} mais próximos da unidade), ou, conjugação dos fatores de capacidade e de carga simultâneos.

Fator de Reposição, f_{ren} , ou renovabilidade, que relaciona os custos índices entre as fontes de energias alternativas renováveis disponíveis - correspondendo ao inverso da relação de custos índices típicos, ou seja, para um energético - alternativo ou substituto - com custo índice, de potência ou energia, o dobro do custo índice de referência, corresponderia a um $f_{ren} = 1/2$, ou $f_{ren} = 0,5$ (aproximadamente, ou um valor percentual relacionado a ser precisado, especificamente, e em campo, para cada sistema ou conjunto de suprimento/consumo considerado).

Fator de Impacto Ambiental, f_{imp} , que avalia os impactos, em termos de limitação de usos futuros de energia e custos de reposição ou eliminação de impactos indesejáveis. Correspondendo, em valor numérico relativo, inversamente proporcional aos impactos gerados pela substituição de um energético - por exemplo, duas vezes mais impactos, representados por custos ambientais ou sociais (custos para evitar a poluição, recompor o ambiente ou realocar assentamentos humanos), corresponderia a $f_{imp} = 0,5$ - ou um valor aproximado de 0,5, a ser precisado com a avaliação criteriosa e específica para o dado conjunto de fontes supridoras e as alternativas, intercambiáveis, consideradas.

Busca-se, assim, mesurar um *Fator Viabilidade Global*, F_{VG} , que envolve a viabilidade técnica e econômica, em nível de custos e disponibilidades correspondentes às tecnologias apropriáveis, correspondendo à atratividade global, oportunidades e ganhos líquidos de substituição ou de resultados a longo prazos e, também, o que se designa como Viabilidade Ambiental - medida dos impactos ambientais relacionados com o uso, isolado ou em conjunto, de um dado energético - comparada entre os diversos sistemas de suprimento energético.

O **Fator de Viabilidade Global** de um conjunto de fontes supridoras isoladas, F_{VGI} , - fontes não conectadas a uma rede elétrica convencional- portanto, seria do tipo :

$$F_{VGI} = [(\sum_{i=1}^n f_{int} \times f_{ren} \times f_{imp} \times P_{mf(i)}) \times T / \text{Energia requerida}]$$

onde, $P_{mf(i)}$ corresponde à Potência Média, calculada num tempo "T", de cada energético "i", que compõe o

conjunto de fontes supridoras - não interligadas à uma rede elétrica convencional.

Já para sistemas de fontes interligadas à rede, o **Fator de Viabilidade Global** passaria a ser designado: *Fator de viabilidade Global Conectado*, F_{VGC} , que consideraria uma média ponderada, correspondendo os pesos às participações percentuais relativas entre o suprimento devido à rede convencional e o suprimento devido à(s) fonte(s) alternativa(s), ou, não-convencional(is).

Assim, pois:

$$F_{VGC} = F_{VGI} \times p_I + F_{VR} \times p_R$$

Onde,

p_I e p_R , corresponderiam, respectivamente, aos pesos percentuais relativos de participação dos sistemas de fontes não convencionais (p_I), e a participação da rede (p_R).

e F_{VR} , *Fator de Viabilidade da Rede*, convencional, é definido pela mensuração dos impactos ambientais - relativos a uma referência, tomada como padrão (cujo valor seria igual a uma unidade, para um sistema de rede elétrica convencional cuja implantação ou expansão não implicasse em custos ambientais crescentes ou para os quais não houvesse limitações ou novos impactos, restrições técnicas e econômicas). Já para sistemas convencionais para os quais incidem impactos de implantação, como é o caso das usinas do Rio Madeira, ou, que gerem poluição (resíduos da combustão de fósseis, NO_x , SO_x , das usinas termelétricas) ou efeito estufa (emissão de CO_2 e CH_4) - esse fator tende a decrescer e se afastar da unidade.

Através dos quais, a aplicação de conceitos, tais como, *energias alternativas*, *impactos ambientais* e os benefícios de suprimento energético por fontes que não a rede convencional - em sistemas isolados -, ou, benefícios de interligação (com diversos graus de participação de convencionais e não-convencionais) para sistemas de suprimento conjunto, poderiam ser quantificados e precisados, passando a ser uma medida útil de avaliação, quantificada, dos seus significados energéticos, tecnológicos, econômicos e ambientais. Implicando, sobretudo, na quantificação, pelo que, redutíveis a uma unidade comum de equacionamento, o que se refletiria sobre os cálculos de custos, continuidade e projeção de impactos e a razão custo/benefício, tanto a curto, como a médio e longo prazos.

X. CONCLUSÕES

Do que se pode observar, dada a dinâmica de produção e consumo de energia desta primeira década do século XXI - quando se constata as preocupações dos fóruns mundiais -, a priorização na busca de fontes e sistemas de energias limpas, renováveis e garantidas. Correspondente não só ao suprimento energético nos

níveis de consumo atuais, mas, também, como perspectivas de atenuar os constatados, e sérios, impactos ambientais decorrentes dos usos atuais, ou seja, da matriz energética mundial e de suas projeções, mantidas as tendências atuais.

No Brasil o vasto potencial energético renovável é promissor sob vários aspectos: como recurso de substituição de energéticos não-renováveis, atualmente em escala de consumo crescente, mas, também, como a possibilidade de integração e complementação de fontes de energia, prioritariamente em sistemas isolados, assim como, para sistemas parcialmente integrados à uma rede convencional de distribuição de energia elétrica.

A ações de ampliação da disponibilidade de energia, através de suprimento distribuído, como é o caso do Mato Grosso e as experiências de integração no norte do país, orientam no sentido de se determinar uma forma de avaliação destes potenciais e da sua integração e complementação – como meio de otimizar o suprimento, via melhora dos índices de custos e fatores de carga, capacidade e de indicadores, tais como: de renovabilidade, impacto ambiental, integrabilidade e viabilidade global ou estendida; de forma a estimular a eficientização do uso da energia, na busca de um suprimento pleno e um consumo otimizado.

XI. AGRADECIMENTOS

Fica registrado neste trabalho o reconhecimento e agradecimentos ao professor orientador, Professor Doutor Teófilo Miguel de Souza, pelo apoio, estímulos e considerações pertinentes, no sentido de tê-lo tornado exequível e promissor enquanto contribuição - que se pretende ser continuada - ao tema, crítico e premente do planejamento energético no Brasil.

XII. REFERÊNCIAS

- [1] MME, “Plano Decenal de Energia – Relatório Final”. [online]. Available: <http://www.epe.gov.br/PDEE/Forms/EPEEstudo.aspx>
- [2] ANEEL. (2009, Jun. 14). “Atlas de Energia Elétrica do Brasil”, 2ª Edição; [online] Available: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Atlas/apresentacao/apresentacao.html>
- [3] CRESEB/CEPEL/ELETRORÁS. (2009, Jun. 17). “Atlas do Potencial Eólico”. [online] Available: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/atlas_eolico_brasil/atlas.html
- [4] EPE, “Balanço Energético Nacional 2008: Ano base 2007: Resultados Preliminares”, Rio de Janeiro: EPE, 2008.
- [5] Barbosa, C. F. de O., J. T. Pinho, E. J. da S. Pereira, M. A. B. Galhardo, S. B. do Vale e W. M. de A. Maranhão, “Situação da Geração Elétrica Através de Sistemas Híbridos no Estado do Pará e Perspectivas Frente à Universalização da Energia Elétrica”. In Proc. AGRENER GD 2004 - 5º Encontro de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída, Unicamp - Campinas, out. 2004.
- [6] Barbosa, C. F. O., J. T. Pinho e S. B. Vale, “Solar/Wind/Diesel Hybrid Power Systems for the Electrification of Isolated Communities in the Brazilian Amazon Region - Present State and Future Developments”, In Proc VI CLAGTEE - Congreso

Latinoamericano de Generación y Transporte de la Energía Eléctrica, Mar Del Plata, Argentina, nov. 2005.

- [7] Brazil, Osiris A. V., “Regulação e Apropriação de Energia Térmica Solar pela População de Baixa Renda no Brasil”, disc. de Mestrado, Unifacs, Salvador, 2006 [online] Available: http://tede.unifacs.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=123
- [8] Camargo, Arilde de and Sutil, Gabriel de, “Análise do Potencial das Usinas Eólicas de Camelinho e Palmas e Avaliação do Potencial Eólico de Localidades do Paraná”, dissertação de Mestrado, CEFET Paraná, Curitiba, 2005.
- [9] CRESEB/ELETRORÁS, “Potencial Energético do Brasil - Atlas Solar e Eólico do Brasil”, Cresesb/Eletrorás, Rio de Janeiro, 2009.
- [10] Cruz, D. P., M. A. B. Galhardo, J. T. Pinho, C. F. de O. Barbosa e R. G. Araújo, “Monitoração Remota e Análise de Desempenho de um Sistema Híbrido Solar-Eólico-Diesel”, in IEEE-PES T&D Latin America, São Paulo, nov. 2004.
- [11] Dias, Fábio Sales, “Perspectiva das Pequenas Centrais Hidroelétricas – PCH” in : Anais do 1º Seminário do Centro-Oeste de Energias Renováveis, Associação Brasileira dos Pequenos e Médios Produtores de Energia Elétrica (APMPE), Goiânia, 2007. <http://www.seplan.go.gov.br/energias/livro/cap11>
- [12] Galindo, Joaci, “Uma Abordagem sobre a Implantação de Sistemas Energéticos Solares e Eólicos em Pernambuco”, dissertação de Mestrado, Prodema-Ufal, Maceió, 2007.
- [13] Irfi, Guilherme, “Previsão da demanda por energia elétrica para classes de consumo na região Nordeste, usando OLS dinâmico e mudança de regime”, in Econ. Apl., Mar 2009, vol.13, no.1, p.69-98. ISSN 1413-8050.
- [14] Jornal Folha de São Paulo. (2008, set. 13). “Lobão afirma que país terá mais 50 usinas nucleares”. [online]. Available: <http://www1.folha.uol.com.br/fsp/dinheiro/fi1309200812.htm>
- [15] Kumpulainen, L. and Lehtonen M., “Os sistemas de Fornecimento de Energia Elétrica do Futuro”, in Anais do XIX Cired, Viena, EM nº 414 set/2008 pp. 83-89. São Paulo.
- [16] Leite, Rogério Cezar de Cerqueira. (2008, oct. 03). “O segundo ocaso da energia nuclear”, in Jornal Folha de São Paulo, Opinião-Tendências e Debates, São Paulo, 03/10/2008.
- [17] Lindert, Peter H., International Economics, 9th ed., 1991. Irwin. pp. 234-235.
- [18] Lopes, D. G., “Análise Comparativa entre dois Sistemas de Geração de Energia Elétrica para a Comunidade Isolada no Interior do Amazonas: Células Combustível com Reformador para Gás Natural X Gerador Diesel”, in Agrener GD 2004 5º Encontro de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída, 2004 Campinas-SP.
- [19] MME. (17/06/2009, jun. 17). “Programa Luz para Todos”, [online] Available <http://luzparatodos.mme.gov.br/luzparatodos/asp/>
- [20] Pinto Jr, Ary Vaz, “Potencialidades e Energias Renováveis no Brasil - Perspectiva Solar”; in Anais do 1º Seminário do Centro-Oeste de Energias Renováveis, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica do Grupo Eletrobrás Goiânia, 2007, [online] Available: <http://www.seplan.go.gov.br/energias/livro/cap10.pdf>
- [21] MME. (2009, jun 17). “Plano Decenal de Expansão de Energia 2008/2017”, [online] Available: <https://www.mme.gov.br/site/news/detail.do?newsId=17717>
- [22] MME. (2009, jun 17). “Proinfra: Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica”, [online] Available: http://www.mme.gov.br/programs_display.do?prg=5
- [23] Rossi, Luiz Antonio. (2009, jun. 15). “Sistema híbrido Eólico-Fotovoltaico: alternativa na geração descentralizada de eletricidade

para áreas rurais isoladas”, in *Proc. 2003 3º Encontro de Energia no Meio Rural*, 2000, Campinas, 2003 [online]. Available: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC00000002200000100024&lng=en&nrm=iso.

[24] Schmidt, Cristiane Alkmin Junqueira and Lima Marcos A. M., “A demanda por energia elétrica no Brasil” in *Rev. Bras. Econ.*, Rio de Janeiro, v. 58, n. 1, Mar. 2004. [online]. Available: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-71402004000100004&lng=en&nrm=iso doi: 10.1590/S0034-71402004000100004.

[25] Spalding, Eduardo, “A Nova Matriz Energética Brasileira Energia - Competitiva como Fator de Desenvolvimento”, in *ABRACE*, São Paulo, 2008.

[26] Tolmaskim, Maurício T. (org.) “*Fontes Renováveis no Brasil*”, Coppe-UFRJ/Cenergia/Interciência. Rio de Janeiro, 2003.

[27] Tolmaskim, Mauricio T.; Guerreiro, Amilcar and Gorini, Ricardo, “Matriz energética brasileira: uma prospectiva. Novos estudos”. In *CEBRAP*, São Paulo, n.79, nov. 2007. Available: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-33002007000300003&lng=pt&nrm=iso. acesso em 17 jun. 2009. doi: 10.1590/S0101-33002007000300003.

[28] WEC 2007, “The energy industry unveils its blueprint for tackling climate change” in *Wec Statement 2007*, London 2007.

[29] *WORLD ENERGY OUTLOOK 2008*, “Perspectivas de la energia en el mundo-2008” in *Key World Energy Statistics*, AIE/OCDE, Paris 2008.

XII. BIOGRAFIAS

Adalberto de Araújo Barreto Fº: Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Paraíba (1985) e mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal da Paraíba (1990). Atualmente é professor titular da Universidade do Estado de Santa Catarina. Atua nas áreas de Engenharia Elétrica, com ênfase em Transmissão da Energia Elétrica, Distribuição da Energia Elétrica e Geração da Energia, atuando principalmente nos seguintes temas: bateria solar; células fotovoltaicas, pequenas centrais hidrelétricas; potencial energético alternativo. É doutorando na UNESP, na área de Energia.

Direitos autorais

Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído neste artigo.

