



## Grupo de Estudo de Geração Eólica, Solar e Armazenamento-GES

### Proposta de geração híbrida termossolar-eólica aplicável à região do semi-árido brasileiro - Conceitos e Perspectivas.

**AIRTON VIOLIN(1); EDSON DA COSTA BORTONI(2); VLADIMIR RAFAEL MELIAN COBAS(3); FELIPE EDUARDO RIBEIRO(4); JONATHAN WILLIAN DOS SANTOS(5); UNIFEI(1); UNIFEI(2); UNIFEI(3); UNIFEI(4); UNIFEI(5);**

#### RESUMO

Atualmente, uma preocupação do Operador Nacional do Sistema Elétrico (e de outros operadores no mundo) é com a segurança energética do Sistema Interligado Nacional devido à inserção de parques eólicos, com geração intermitente, e a redução das áreas dos reservatórios das novas hidrelétricas. O objetivo do artigo é apresentar o resultado de uma pesquisa, em caráter conceitual, sobre a viabilidade técnica de uma usina híbrida termossolar-eólica, com geração despachável, que possa ser implantada ao longo da região semiárida brasileira para atender a necessidade de segurança energética e ao mesmo tempo favorecer o desenvolvimento socioeconômico da região.

#### PALAVRAS-CHAVE

Usina híbrida, geração heliotérmica, armazenamento térmico, reserva girante.

#### 1.0 - INTRODUÇÃO

O propósito da pesquisa é a exploração, em caráter conceitual, de fontes renováveis para geração de energia despachável. Nos próximos vinte anos as energias renováveis, principalmente a solar e a eólica, tendem a ganhar destaque no parque gerador brasileiro. Isto ocorrerá seja por razões climáticas, por restrições ambientais para a exploração do potencial hidrelétrico na Amazônia ou por reduções de custos e aumento da competitividade das fontes renováveis. Associado às fontes renováveis há a intermitência, mais crítica em relação às eólicas, que impossibilita ou muito dificulta a previsibilidade na geração de energia e o manejo do risco associado ao atendimento do mercado consumidor. A preocupação em manter a segurança energética em relação à disponibilidade de reserva é fato conhecido e estudado pelos operadores independentes ao redor do mundo, um tema relevante do momento (1).

A intermitência dos parques eólicos eleva os riscos para o balanço energético diário, como mostra a Figura 1 onde, no caso, o comportamento de dois dias subsequentes apresenta diferença de até 2420 MW. O fato é que à medida que a capacidade instalada de geração eólica aumentar um determinado montante de geração despachável deverá estar disponível, de modo a manter o risco em nível aceitável.

O que a pesquisa explorou é uma solução de geração despachável tendo como fontes primárias as energias renováveis, de baixo impacto ambiental e de elevado conteúdo socioeconômico, para fazer frente à elevação do percentual de parques eólicos na matriz elétrica brasileira nos próximos vinte anos. O que se procurou foi compatibilizar as necessidades do sistema elétrico brasileiro com a redução das desigualdades regionais. Os

(1) UNIFEI-ISEE, Av. BPS, n° 1303 – Bloco I – CEP 37.500-903 Itajubá, MG – Brasil  
Tel: (+55 35) 3629-1897 – Email: [airtonviolin@unifei.edu.br](mailto:airtonviolin@unifei.edu.br), [airtonviolin@gmail.com](mailto:airtonviolin@gmail.com).

conceitos envolvidos poderiam apontar para uma política de Estado de médio e longo prazo para a atuação no desenvolvimento regional do Nordeste.

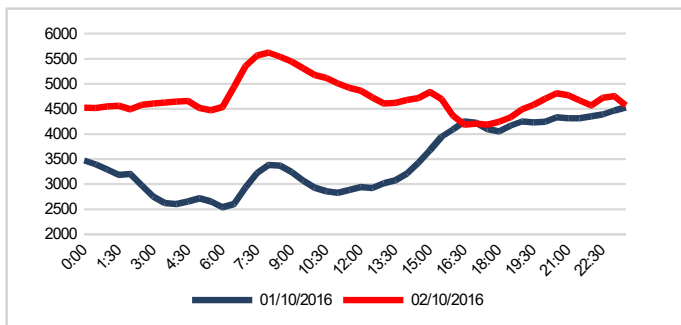


FIGURA 1 - Geração eólica total para a Região Nordeste (MW) – fonte ONS.

O trabalho procurou analisar os fundamentos básicos de usinas termelétricas (2), de plantas termossolares (3-6), plantas eólicas (7) e de armazenadores térmicos (8-9). Em seguida procurou-se analisar o potencial solar e eólico

médio do semiárido e as possibilidades de arranjo técnico para uma usina termossolar-eólica – UTEO à luz das tecnologias heliotérmicas e eólicas disponíveis atualmente. A seguir, com o auxílio do software SAM (System Advisor Model), desenvolvido pelo National Renewable Energy Laboratory-NRE (10), foi concebido uma UTEO padrão que poderia ser aplicada de modo massivo na região do semiárido.

Foi abordada também, de modo simplificado, a potencialidade, os aspectos operacionais envolvendo este arranjo técnico, bem como foram destacadas também comparações com as demais fontes convencionais, além de discussões sobre as expectativas socioeconômicas que poderiam ocorrer na região.

## 2.0 - REGIÃO SEMIÁRIDA

A região semiárida brasileira tem se constituído em um desafio desde a época do Império. Por não possuir autossuficiência econômica, depende de subsídios da união. Em 2005, o Governo Brasileiro redefiniu a região considerando três critérios: a precipitação pluviométrica anual; o índice de aridez e o risco de seca. Em 2017 foi realizada uma nova redefinição, e atualmente a região é composta de partes dos estados do Nordeste e de Minas Gerais e abrange 1.262 municípios com área de 1.030.000 km<sup>2</sup>, onde vivem cerca de 10% da população brasileira (11-12).

Neste novo cenário em que as energias renováveis, principalmente as fontes solares e eólicas, ganham protagonismo, a região pode se beneficiar de suas principais riquezas: o sol e o vento. Na Figura 2 são mostrados os lados orientais dos mapas de irradiação solar direta (à esquerda) e de velocidade do vento para altura de 100 metros (à direita) (13-14).

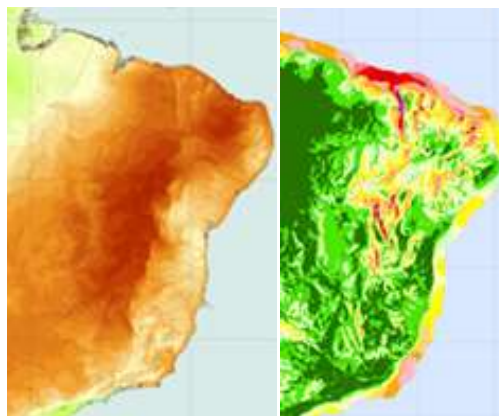


FIGURA 2 – Irradiação solar direta e velocidade do vento para altura de 100 metros.

Na Figura 2, a irradiação solar direta com tonalidade laranja escuro indica ordem de 5,7 kWh/m<sup>2</sup>.dia, e a tonalidade vermelha indica ordem de 6,3 kWh/m<sup>2</sup>.dia. Estas tonalidades marcam boa parte da área do semiárido, indicando a região como promissora para aplicação da tecnologia heliotérmica. De fato, a literatura indica regiões com incidência solar direta média a partir de 5,3 kWh/m<sup>2</sup>.dia para a aplicação desta tecnologia. No mapa de velocidade de vento as tonalidades em amarelo e laranja indicam ventos médios entre 6,5 a 8,5 m/s, a tonalidade vermelha indica ventos médios entre 8,5 a 10,5 m/s, indicando bom potencial de vento também no interior do Nordeste.

De maneira simplificada, considerando uma média ponderada entre áreas do semiárido de diferentes potenciais solar e eólico foi obtido valor médio de irradiação solar de 5,00 kWh/m<sup>2</sup>.dia, e velocidade média de vento para altura de 100 metros de 5,79 m/s.

Apesar dessa “riqueza potencial” os indicadores socioeconômicos da região não são animadores, pois apesar da perseverança de sua população a região é inóspita. A União tem compromissos com repasses de verbas e subsídios através do Fundo Constitucional de Financiamento para o Nordeste – FNE para investimentos na infraestrutura, apoio às indústrias, ao setor agropecuário e de turismo, entre outros, com o objetivo de amenizar as consequências das secas, principalmente em períodos prolongados dela.

Por vários indicadores que se analise, é certo que a região necessita de “novos fatos” que permitam o seu desenvolvimento e a melhoria dos indicadores socioeconômicos. Um indicador que espelha o desenvolvimento regional é o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal-IDHM. A Tabela 1 mostra o IDHM para o ano de 2010.

TABELA 1 – IDHM, média do Brasil, do Nordeste e de seus estados - Fonte: PNUD.

2010	BR	NE	SE	RN	PI	PE	PB	MA	CE	BA	AL
IDHM	0,727	0,663	0,665	0,684	0,648	0,673	0,658	0,639	0,682	0,660	0,631

O indicador IDHM é composto de parâmetros que levam em conta a longevidade da população, o nível de renda e o nível educacional dos habitantes dos municípios. O indicador varia de 0 a 1, sendo que quanto mais alto, melhor é o desenvolvimento. Pode-se observar que o indicador do Brasil é de 0,727 e tanto a média do Nordeste (0,663) quanto seus estados estão abaixo da média do Brasil, indicando um significativo desequilíbrio regional (15).

A Tabela 2 espelha a comparação de renda entre os estados do Nordeste e a média do Brasil em termos de renda per capita para o mês de agosto de 2010. Pode-se constatar aqui também o desequilíbrio regional em relação à média brasileira.

TABELA 2 – Renda per capita - RPC para agosto de 2010 do Brasil e dos estados do Nordeste - Fonte: PNUD.

08/2010	BR	SE	RN	PI	PE	PB	MA	CE	BA	AL
RPC	793,87	523,53	545,42	416,93	525,64	474,94	360,34	460,63	496,73	432,56

Se os indicadores dos estados do Nordeste fossem decompostos e obtidos números específicos para a região semiárida, é certo que apontariam piores indicadores socioeconômicos, que reforçariam a necessidade de ações em prol do desenvolvimento desta região.

### 3.0 - USINA TERMOSSOLAR-EÓLICA – UTEO

Denomina-se usina termossolar uma usina operando um ciclo térmico, na qual a fonte primária de energia é o sol. A energia do sol é concentrada por meios de dispositivos reflexivos, concentrando grande quantidade de radiação solar sobre uma área pequena. Essa energia térmica concentrada é utilizada para aquecer um fluido que ao se expandir em uma turbina produzirá potência de eixo, e acoplado-se a um gerador elétrico obtém-se potência elétrica. O ciclo de potência desses sistemas é semelhante a uma termelétrica convencional, como

ilustra a Figura 3. É importante notar que, neste caso, não há uma caldeira envolvida. Envolvido no processo há três subsistemas básicos: os painéis coletores (recebem a energia do sol), o circuito receptor de calor (recebe o calor dos painéis e aquece um fluido circulante) e um trocador de calor (transfere o calor para um circuito produtor de vapor).

Para coletar a irradiação solar é possível empregar os coletores cilíndricos parabólicos, os coletores concentradores do tipo torre e em aplicações para baixa potência pode-se utilizar os discos parabólicos. Para projetos de grande porte, a tecnologia com coletores cilíndricos parabólicos- CSP é a mais empregada no momento, embora de menor eficácia, é a tecnologia mais testada comercialmente. Uma planta termossolar opera parcialmente ao longo de 24 horas, no período de sol, podendo estender a sua operação se dispuser de sistema de armazenamento térmico.

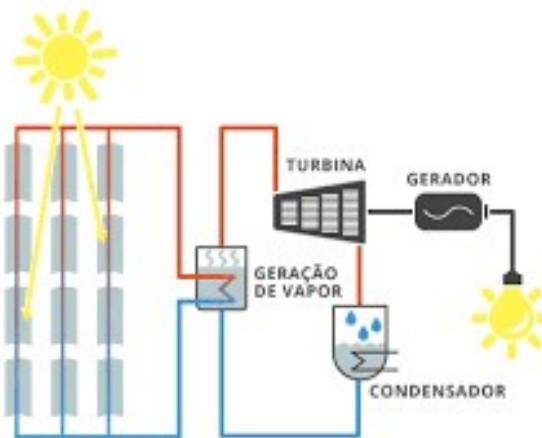


FIGURA 3 – Esquema básico de funcionamento de uma usina termossolar.

Uma usina eólica consiste basicamente em um conjunto de aerogeradores pré-dispostos de forma a extrair a energia dos ventos da maneira mais eficiente possível. A energia cinética dos ventos é convertida em energia mecânica de eixo pelas pás do rotor (através do efeito de sustentação), que acoplado ao gerador elétrico, gera eletricidade.

O aerogerador tem velocidade variável e geralmente é equipado com controle de passo nas pás e sistema de controle para manter a frequência da tensão gerada em valor constante. Dependendo do tipo de máquina, pode ser acoplado ao gerador através de caixa de redução de velocidade. Também, o projeto deve levar em conta a área de turbulência criada pelo vento turbinado de modo a posicionar as torres de maneira eficiente.

Os parques eólicos operam de forma contínua, a partir de uma dada velocidade de vento mínima e gera energia de modo intermitente, com grande variabilidade de sua potência entregue à rede.

### 3.1 Conceito

A ideia de um arranjo técnico, cujas fontes primárias sejam o sol e o vento, que com auxílio de um sistema de armazenamento térmico possa gerar energia despachável e opere de forma ininterrupta foi nomeada de usina termossolar-eólica - UTEO. A Figura 4 mostra o esquema conceitual.

10 a 13 de novembro de 2019  
Belo Horizonte - MG

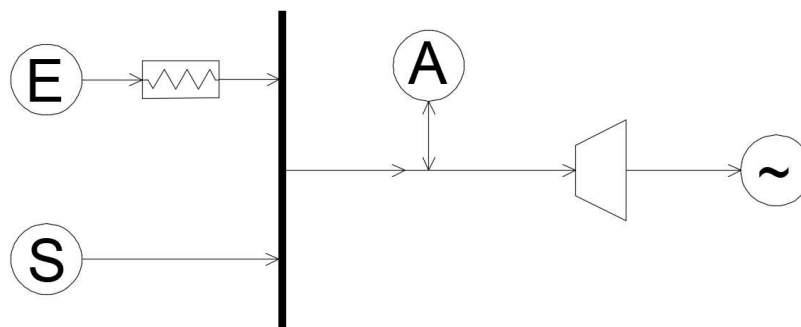


FIGURA 4 – Arranjo técnico conceitual de uma UTEO

O arranjo técnico proposto é uma usina híbrida com fontes primárias, solar (S) e eólica (E), convertendo as suas energias para a forma de calor. A parte termossolar faz a conversão naturalmente e a parte eólica converte a sua geração para a forma de calor através de bancos de resistores acoplados eletricamente aos aerogeradores. O parque eólico, idealmente com capacidade instalada menor do que a da planta termossolar, opera em um circuito fechado em média tensão, desacoplado da rede, sendo que a sua intermitência na geração se dá na produção de calor. Assim, o ritmo de produção de calor depende da constância da velocidade do vento. Com o auxílio de um sistema de armazenamento térmico (A) e dimensionamento adequado das fontes cria-se uma usina termelétrica com capacidade despachável que possa operar 24 horas por dia.

Neste arranjo, a usina pode operar como geração de base, reservando parte da potência e do calor para operar com reserva girante para garantir a segurança operativa do sistema em termos de balanço energético diário. O ciclo de renovação é diário e um despacho adequado poderia utilizar toda a energia produzida (dependendo da previsão para o dia seguinte) e ao mesmo tempo prover reserva girante para às intermitências dos parques eólicos do Nordeste.

Esta solução híbrida concorre com as soluções termelétricas convencionais e a sua implantação massiva na região semiárida permitiria capacidade instalada de tal ordem que a região Nordeste poderia explorar em grande escala o potencial eólico com a instalação massiva de parques eólicos, seja na faixa litorânea ou no seu interior. A solução para a intermitência dos parques eólicos ficaria resolvida na própria região.

### 3.2 Definição de UTEO padrão

Para uma melhor compreensão das potencialidades desta proposta foi desenvolvido, de modo preliminar, uma “UTEO padrão média” para a região com base em valor médio de irradiação solar direta e de velocidade média de vento para altura de 100 metros, como definido no item 2 anterior. O objetivo, nesta etapa, não foi o de explorar os melhores locais para a implantação das usinas, mas sim, com base em premissas de potência e energia definir os principais parâmetros de um arranjo híbrido que, em média, pudesse representar a potencialidade da região.

Na definição deste arranjo, é necessário selecionar as soluções a serem empregadas na planta termossolar, no parque eólico e no sistema de armazenamento. Na fonte solar é possível empregar tanto os coletores cilíndricos parabólicos, quanto os concentradores do tipo torre. A tecnologia mais utilizada comercialmente em operação é a do tipo CSP – concentrador solar parabólico (Andasol 1 – 50 MW Espanha, Nevada Solar One – 64 MW USA, Cerro Dominador – 110 MW Chile, entre outros). A tecnologia de concentrador do tipo torre central tem sido também aplicada em projetos mais recentes devido à possibilidade de obtenção de temperaturas de trabalho mais elevadas (próxima de 600 graus contra 400 graus no CSP). Neste caso foi definida a tecnologia CSP.

Na fonte eólica as definições dependem basicamente da velocidade média do vento e da altura da torre a ser considerada, além de outros fatores. O arranjo técnico deve permitir velocidades variáveis dentro dos limites do conjunto. Neste caso foi definido o aerogerador Siemens SWT 2,3 MW.

O sistema de armazenamento térmico mais empregado utiliza sal fundido, contidos em tanques adequados, devido à sua eficiência térmica. Pode-se também utilizar fluidos térmicos já utilizados nos coletores solares, tornando o arranjo técnico mais simples. Ainda em fase de pesquisas e aplicações pilotos, há a opção de se empregar blocos de concretos ou cerâmicos como forma mais simples de armazenamento térmico sob o ponto de vista ambiental.

Para a simulação de um projeto conceitual de uma UTEO utilizou-se o software SAM (System Advisor Model), A ideia era de que a planta híbrida teria capacidade de geração líquida de 50 MW, com possibilidade de operar 24 horas por dia, auxiliado por um parque eólico de 12 aerogeradores com 2,3 MW cada um, totalizando 27,6 MW e por um sistema de armazenamento térmico utilizando-se o mesmo fluido térmico da planta solar.

Foi utilizado como padrão a cidade de Petrolina-PE representando a média obtida para a irradiação solar direta e velocidade de vento para 100 metro de altura, sendo respectivamente 5,02 kWh/m<sup>2</sup>.dia e 6,0 m/s. Os valores obtidos no item 2, por meio de médias ponderadas, para a região semiárida foi de respectivamente 5,00 kWh/m<sup>2</sup>.dia e 5,79 m/s, indicando uma proximidade entre eles que não compromete os resultados para esta fase do trabalho.

O software não simula um sistema híbrido tal como definido aqui. Assim, foi necessário simular um sistema eólico e verificar a energia gerada e em seguida simular um sistema híbrido no SAM em que uma caldeira gerasse a mesma energia do parque eólico e que operasse juntamente com a planta termossolar. A Figura 5 mostra o procedimento.

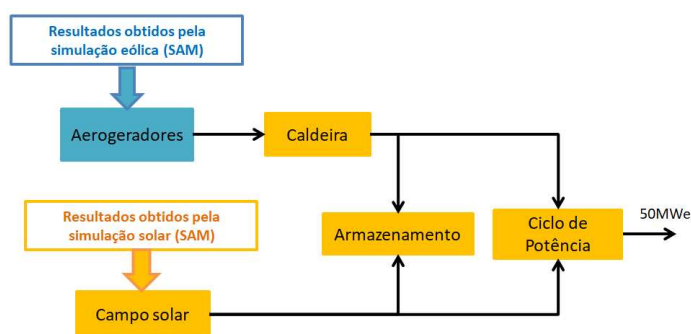


FIGURA 5 - Fluxograma da simulação

A Figura 6 mostra o arranjo técnico proposto em que a fonte solar e a fonte eólica operam em conjunto, tendo como resultado uma usina termelétrica sem caldeira. Na figura pode-se observar os painéis solares CSP que representa o campo solar, os 12 aerogeradores, cada um acoplado eletricamente a uma banco de resistores de média tensão, os 2 tanques do sistema de armazenamento térmico e o circuito de vapor para a geração elétrica. Os aerogeradores devem estar instalados no lado Sul para não fazer sombra no campo solar, que tem sistema de rastreamento no sentido Leste-Oeste.

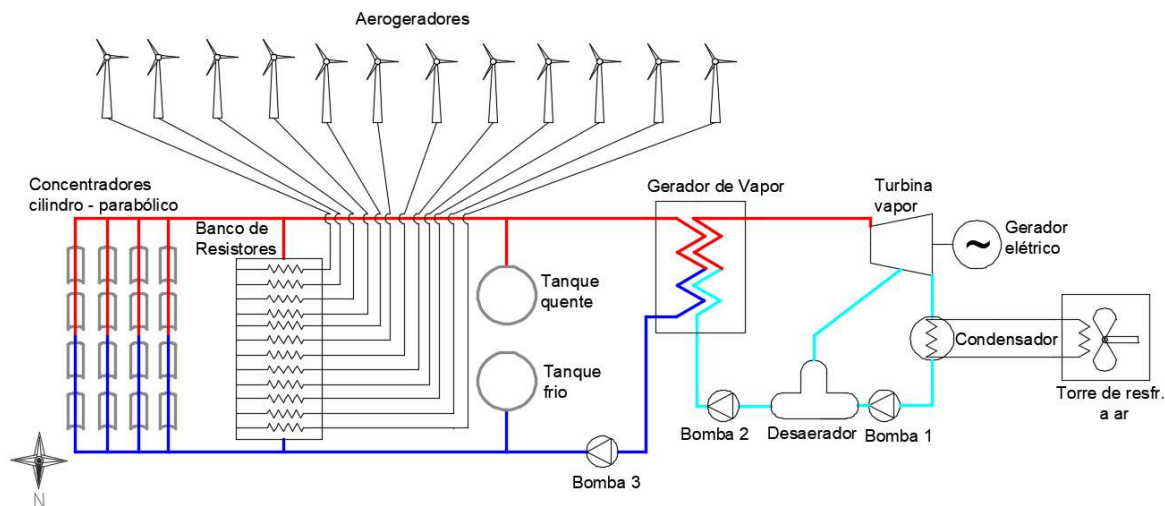


FIGURA 6 - Disposição dos componentes da UTEO.

A Tabela 3 apresenta os principais parâmetros de entrada no SAM desta usina híbrida padrão. A usina possui potência elétrica nominal de 50 MW e a potência mínima gerada, por limitação da turbina, deve ser de 10 MW.

A Tabela 4 mostra os resultados do dimensionamento previsto na tabela anterior. A energia gerada pelo parque eólico será convertida em calor, que juntamente com o campo solar e o sistema de armazenamento gerará para o Sistema Interligado Nacional - SIN cerca de 190 GWh/ano. As dimensões dos reservatórios de armazenamento térmico dependem das premissas definidas na Tabela 3 e também do fluido térmico utilizado. Por exemplo, se o fluido fosse o sal fundido (muito utilizado nas usinas termossolares em operação) o volume seria reduzido de 30%. No entanto, o sal fundido necessita que a sua temperatura mínima de operação seja de 238 °C, enquanto que para o fluido Therminol VP-1 esta temperatura mínima é de apenas 12 °C.

TABELA 3 – Principais dados de entrada para simulações no SAM.

Local de referência	Petrolina-PE	IRSD = 5,02 kWh/m <sup>2</sup> .dia	Vv = 6,0 m/s a 100 m
Aerogerador	Siemens SWT 2,3 MW	Num. de unidades = 12	Capacidade = 27,6 MW
Fluido utilizado	Therminol VP-1	No circuito de calor	No armazenamento
Potência produzida	55 MWe	No campo solar	Perdas+ auxiliares = 10%
Armazenamento	Definido para 30 MWe	E tempo de 12 horas	

TABELA 4 – Principais dados de saída das simulações no SAM.

Energia gerada pelo parque eólico		46,08 GWh.ano		Perdas de 5%	
Área do campo solar	168 ha	Área total da UTEO		235 ha	
Temperatura do vapor na entrada da turbina		391 °C			
Temperatura do vapor na saída da turbina		293 °C			
Dimensões dos tanques de armazenamento		Diam. = 48 m	Altura = 20 m	Volume = 36.242 m <sup>3</sup>	
Energia gerada pela UTEO para o SIN		190,14 GWh.ano			

### 3.3 Conexão à Rede Básica

10 a 13 de novembro de 2019  
Belo Horizonte - MG

A escolha de uma UTEO padrão com capacidade nominal de 50 MW se deve ao número de unidades em operação comercial nesta faixa de potência e também pelo fato de que a potência natural de transmissão de uma linha típica de 138 kV é da mesma ordem de grandeza. Esta escolha permite a conexão de UTEO's à SE da Rede Básica em um raio da ordem de 150 km com uma regulação menor do que 5%. A Figura 7 mostra que a configuração da subestação da usina poderia ser muito simples, podendo inclusive ser do tipo conexão unitária, incluindo também a transmissão. As linhas poderiam possuir canal de comunicação via fibra óptica no cabo guarda e assim prover adequada capacidade e transferência de sinal para proteção e controle, integrando-as aos canais da Rede Básica para acesso do COS.

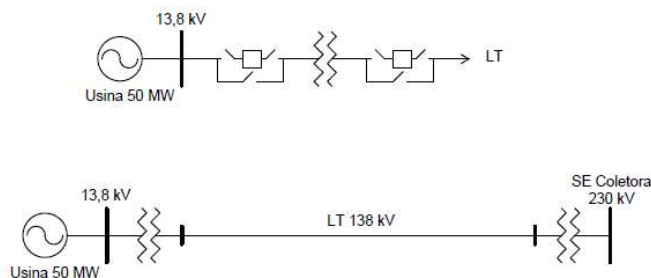


FIGURA 7 - Esquemas simplificados de subestações para a conexão das usinas à Rede Básica.

#### 4.0 - APLICAÇÃO NO SEMIÁRIDO

Nesta seção são feitas algumas considerações sobre aplicação massiva deste tipo de usina na região semiárida brasileira. O objetivo é o de fomentar discussões e enxergar perspectivas não somente sob a ótica do setor elétrico, mas também de desenvolvimento regional e de valorização para a sua população de seus “bens naturais”.

##### 4.1 Expectativa de capacidade instalada

A UTEO foi concebida com base em valores médios de irradiação solar direta e de velocidade de vento da região, resultando em, para uma capacidade disponível líquida de 50 MW, energia média anual despachável de 190 GWh.

Se fosse admitida a instalação uma UTEO padrão em cada cidade do semiárido, a capacidade disponível líquida total seria da ordem de 63 GW com energia média anual despachável total da ordem de 240 TWh. Como, em média cada cidade possui área da ordem de 816.000 ha, a utilização de 235 ha para a instalação de uma usina, a princípio, não seria um fator impeditivo sob o ponto de vista físico.

Para efeito de comparação, a UHE Belo Monte, em fase final de construção, possui capacidade instalada de 11 GW e expectativa de geração de energia média anual de 40 TWh. Assim, a proposta equivale à instalação de 6 (seis) usinas de Belo Monte no semiárido brasileiro, porém de forma distribuída.

##### 4.2 Aspectos operacionais e de segurança energética

A configuração proposta de geração híbrida tem como base um ciclo de renovação de energia de 24 horas. Assim, seria possível definir uma estratégia para a reserva de segurança do sistema elétrico. O fato de existir na região Nordeste um elevado potencial para a geração eólica (mais de 100 GW), implica necessariamente em estudar possibilidades para a evolução par e passo de um parque de geração com potência despachável de modo a reduzir os efeitos da intermitência da geração eólica, tornando a operação do sistema mais confiável.

A proposição em questão vislumbra a instalação um número elevado de UTEO na região semiárida, de modo que parte da geração seja de base e parte seria reserva girante. Esta premissa leva em conta a operação combinada com as hidrelétricas, aliviando a pressão sobre elas, permitindo mais tempo para a recuperação de seus reservatórios. A Figura 8 mostra uma possibilidade, como exemplo, de um despacho para uma UTEO. Este perfil foi definido com base na curva de carga do sistema brasileiro (05/11/18). Durante o período de maior carga no sistema (das 10 às 17h) a usina despacharia 40 MW e manteria 10 MW de reserva girante. Fora deste



período a geração decresce, e no ciclo de 24 horas a sua geração é totalmente consumida pelo sistema. O mínimo valor despachado, por limitações técnicas, é de 10 MW. Este valor permite a operação ininterrupta da usina.

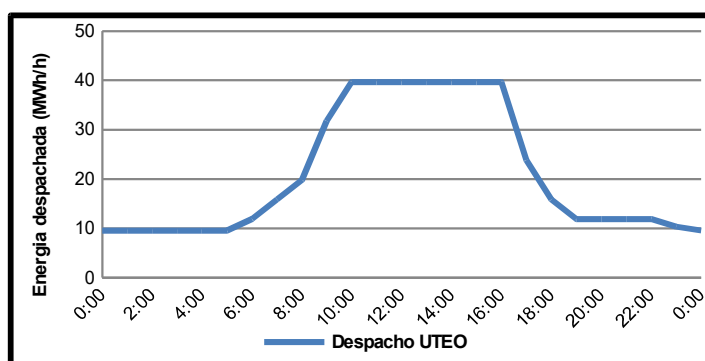


FIGURA 8 – Exemplo de perfil da geração de uma UTEO.

Poderia ser criado na região Nordeste um COS exclusivo para as renováveis, cujo sistema de controle poderia ser projetado para monitorar a geração de renováveis e a sua intermitência de um lado e as reservas girantes nas UTEO's de outro. Dado que as máquinas estariam em operação, mediante ações de controle do COS a reserva girante seria acionada rapidamente suprindo, por exemplo, uma perda de geração nos parques eólicos da região.

#### 4.3 Expectativas de impactos socioeconômico na região

O objetivo nesta seção é o de levantar o potencial econômico de modo qualitativo elencando as possibilidades que a proposta poderia fomentar. Uma avaliação quantitativa exigiria uma equipe multidisciplinar com abrangência em estudos socioeconômicos.

Uma política de Estado poderia definir regras para a implantação sistematizada destas usinas ao longo do tempo e, assim criar previsibilidade, criando atratividade para que empresas se estabelecessem na região para participarem dos empreendimentos. Por exemplo, se a premissa fosse licitar 60 usinas por ano (inserção de 3 GW ao ano) resultaria em 60 canteiros de obras instalados (excluindo-se as linhas de subtransmissão, as subestações coletoras e as linhas da Rede Básica). Se os empreendimentos tivessem duração de, digamos, 3 anos, significaria um total de 180 canteiros de obras instalados ao ano. Com base em plantas termossolares comerciais internacionais, cada planta deste porte emprega cerca de 1000 trabalhadores durante a sua construção, que significaria a criação de cerca de 200.000 empregos (incluindo as obras da transmissão) no semiárido brasileiro.

Esta política, se levada ao limite (instalar uma usina em cada cidade do semiárido) significaria manter o processo por 20 anos. Durante este período, a economia da região seria irrigada por estes investimentos, geraria emprego, renda para prestadores de serviços, impostos para os governos locais, circulação de mercadorias e de serviços, etc. Como o consumo per capita de energia elétrica ainda é baixo e a região Nordeste possui um grande potencial eólico a ser explorado, esta perspectiva poderia se viabilizar.

Esta política de Estado levaria à previsibilidade, à economia de escala, que associadas à atratividade do custo da mão de obra local poderiam estimular os fabricantes envolvidos em usinas solares e eólicas a implantarem fábricas no semiárido ou em seu entorno. Os efeitos seriam a maior oferta de emprego, maior recolhimento de impostos, maior dinamização da economia. Também, considerando a posição geográfica, a formação de um parque industrial base para exportação de equipamentos e serviços relacionados a plantas termossolares e eólicas poderia ser viabilizado.

Há também aspectos de caráter de política regional e setorial que poderiam resultar em mudança de postura em relação à manutenção econômica da região. Por exemplo, a fixação de royalties para esta fonte de geração no semiárido. Como a riqueza da região (sol e vento) seria convertida e enviada para as demais regiões do país

(exportação de um bem) seria justo advogar royalties para estas usinas, pois seria uma fonte de renda que os governos locais teriam para investimentos sociais, previsão para secas, etc. Cada cidade que recebesse a usina poderia deixar de receber (ou ter o valor reduzido) os repasses econômicos específicos para a região semiárida para minorar os efeitos da seca. Ao longo do tempo, a região poderia se tornar autossuficiente economicamente.

#### 4.4 Comparação com as fontes convencionais

A Tabela 5 mostra os principais parâmetros de comparação entre usinas termelétricas com diferentes fontes primárias. Todas são despacháveis e a única que seria viável para implantação na região semiárida é a UTEO.

TABELA 5 – Comparativo entre geração termelétrica com diferentes fontes primárias.

Tipo de UTE	Vantagens	Desvantagens
Gás	Maior eficiência, combustível limpo, baixo impacto ambiental.	Custo de combustível elevado (pré-sal), custo de transporte (gasodutos).
Biomassa	Captura de carbono na fase de plantação, baixo impacto ambiental.	Grandes áreas para o cultivo, custos de processamento da biomassa.
Nuclear	Grande densidade energética, disponibilidade de urânio.	Necessita de grande quantidade de água p/ resfriamento, custo do combustível, custo de manutenção dos resíduos radioativos, riscos ambientais em caso de acidente.
UETO	Sem custo de sol e vento, não necessita de água para o resfriamento, baixo impacto ambiental.	Custo de instalação mais elevado, custo de transmissão, para ser viável depende de economia de escala, necessita de projeto piloto.

Uma análise comparativa quantitativa entre uma das alternativas convencionais com a UTEO deve considerar o benefício socioeconômico que a solução UTEO produzirá no semiárido. O estudo também deve contemplar o longo prazo visando a exploração do potencial eólico do Nordeste.

#### 5.0 - CONCLUSÃO

A motivação desta pesquisa teve como ponto de partida a busca por soluções para prover reserva de geração para o sistema elétrico brasileiro. Isto porque à medida que o parque gerador se expande, a geração hidrelétrica reduz seus reservatórios e a geração eólica, cada vez mais presente, tem componente de intermitência de difícil solução. Ao imaginar a usina termossolar-eólica, com potência despachável, a solução de reserva poderia ser atendida e ao massificar a implantação destas usinas no semiárido, a emancipação social e econômica da região poderia ser alcançada. Para levar adiante esta proposta, um projeto piloto de pequeno porte na região será necessário.

#### 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Dall'Orto C., Bezerra B., Kelman R., Bastos J. P., Carvalho R. M., Pereira M. V., "Necessidade de reserva girante e impactos no SIN devido à inserção de geração intermitente", XXIV SNPTEE – GOP15, Curitiba PR, 2017.
- (2) Lora E. E. S, Nascimento M. A. R., "Geração termelétrica: planejamento, projeto e operação – Vol. 1 e 2", Ed. Interciência, Rio de Janeiro RJ, 2004.
- (3) Lopez R. A., "Energia solar para produção de eletricidade", Ed. Artliber, São Paulo SP, 2012.
- (4) Neto A. C., Neto P. B. C., Sodré E. A., Lyra F. J. M., "Avaliação técnico-econômica de um projeto híbrido termossolar-biomassa", XXII SNPTEE – GPT19, Brasília DF, 2013.
- (5) Lisboa P. A., Vieira L. S. R., Guimarães A. P. C., Alves M. S., "Metodologia para comparação de sistemas solares com concentração", XXIV SNPTEE – GPT27, Curitiba PR, 2017.

- (6) Mantilla V. A. P., “Avaliação técnica-econômica das tecnologias de geração heliotérmica para o caso brasileiro, considerando sistemas de armazenamento térmico e hibridização”, Dissertação (mestrado em eng. de energia), UNIFEI, Itajubá MG, 2017.
- (7) Lopez R. A., “Energia eólica”, Ed. Artiber, São Paulo SP, 2012.
- (8) Dinçer I., Rosen M. A., “Thermal energy storage, systems and applications”, Wiley publication, UK, 2011.
- (9) Araujo A. K. A., “Modelagem transiente do armazenamento térmico em sistemas CSP”, Dissertação (mestrado em eng. mecânica), UFRN, Natal RN, 2017.
- (10) NREL “SAM - System Advisor Model”, disponível em: <https://sam.nrel.gov>.
- (11) Ministério da Integração Nacional, “Cartilha Nova delimitação do semiárido brasileiro”, Brasília DF, 2005.
- (12) SUDENE, “Mapa-semiárido-1262 municípios”, Disponível em: <http://sudene.gov.br>.
- (13) LABREN, “Atlas de energia solar 2017”, Disponível em: <http://laben.ccst.inpe.br>.
- (14) Novo Atlas, “Novo atlas do potencial eólico brasileiro”, Disponível em: <http://novoatlas.cepel.br>.
- (15) PNUD / IPEA, “Desenvolvimento humano nas macrorregiões brasileiras-2016”, FJP, Brasília DF, 2016.

#### 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Airton Violin**, Dr: é professor no curso de engenharia elétrica da UNIFEI em áreas relativas às subestações e equipamentos. Foi graduado em 1982, obteve o Mestrado em 2003 e o Doutorado em 2014 pela mesma instituição. Atuou na ELETRONORTE na área de planejamento elétrico, atuou como consultor na área de estudos para subestações e desde 2014 é professor.

**Edson da Costa Bortoni**, Dr: é professor no curso de engenharia elétrica e de energia da UNIFEI em áreas relativas às máquinas elétricas, geração hidrelétrica e renovável eólica.

**Vladimir R. M. Cobas**, Dr: é professor no curso de engenharia mecânica e de energia da UNIFEI em áreas relativas à geração termelétrica, sistemas híbridos e renovável termossolar.

**Felipe Eduardo Ribeiro** é recém-graduado pela UNIFEI em engenharia de energia.

**Jonathan Willian dos Santos** é graduando na UNIFEI em engenharia elétrica.