



**A MATRIZ ENERGÉTICA
BRASILEIRA
UM OLHAR PARA O FUTURO**

**Preparado por
Leontina Pinto**

Outubro de 2018

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	3
O INÍCIO: QUAIS AS CARACTERÍSTICAS QUE DEFINEM UM SISTEMA?	4
A continuidade de atendimento	4
A Segurança de abastecimento	5
A Confiabilidade de abastecimento	5
Sustentabilidade	6
Modicidade	6
A SEGURANÇA E A CONTINUIDADE DE ATENDIMENTO	7
A necessidade de energia	7
Brasil: um país que quer crescer	7
A dependência hídrica: situação dos reservatórios	8
As novas fontes como garantidoras do suprimento	9
As eólicas no Sul	11
A CONFIABILIDADE	14
A expansão brasileira	14
As eólicas no Sul	15
MODICIDADE E SUSTENTABILIDADE	16
ALGUMAS SIMULAÇÕES	17
Segurança	17
Confiabilidade	17
Modicidade e Sustentabilidade	19
REDUÇÃO DO DESPACHO TERMOELÉTRICO	19
REDUÇÃO DOS PREÇOS DE CURTO PRAZO	20
CONCLUSÕES	21
O diferencial das eólicas no Sul	21
O impacto na segurança	21
O impacto na confiabilidade	21
O impacto na modicidade e sustentabilidade	22
O benefício que se espalha pelo Brasil	22
A real expansão eólica ótima	22
REFERÊNCIAS	23

INTRODUÇÃO

Este trabalho analisa o resultado da penetração da energia eólica na região Sul brasileira, abrangendo um espectro amplo de impactos no suprimento da energia elétrica, não só na região mas em todo o país.

Para melhor entendimento e avaliação do leitor, simulamos a entrada de um conjunto de parques com potência total igual a 3 GW no Sul – um valor bastante baixo, dado o enorme potencial regional.

Todas as simulações foram realizadas com base nos modelos oficiais utilizados no setor de energia elétrica brasileiro – e reproduzem portanto todas as características da operação realista do sistema.

O INÍCIO: QUAIS AS CARACTERÍSTICAS QUE DEFINEM UM SISTEMA?

Antes de iniciar a avaliação do impacto da entrada de qualquer fonte no sistema de energia elétrico, a primeira pergunta a ser respondida é: quais as características desejáveis para o sistema? Quais as qualidades que devem ser perseguidas, de forma a oferecer ao país e à sociedade um suprimento de energia adequado?

A resposta a estas perguntas abrange não um, mas diversos aspectos valorizados pela sociedade, discutidos a seguir. As seções seguintes discutirão cada aspecto mais detalhadamente, analisando a contribuição da energia eólica na região Sul para a melhoria de cada uma das vertentes.

A continuidade de atendimento

A carga deve ser suprida continuamente ao longo do tempo. A geração total do sistema deve acompanhar a modulação da carga, garantindo ao consumidor seu suprimento.

Este é talvez o conceito mais simples, mas talvez de mais difícil cumprimento. A variabilidade associada às renováveis é um desafio de porte para o operador, que precisa dispor de fontes complementares, de rápida resposta e performance confiável.

Se a complementação da variabilidade eólica (ou renovável, por extensão) é feita com termoeletricas, a operação pode levar a situações indesejáveis. O despacho térmico complementar é um sério problema: a maioria das usinas térmicas não é capaz de uma resposta rápida. Mais ainda, o “liga/desliga” é mais oneroso e exige mais emissões do que a operação contínua. As termoeletricas não foram desenhadas para este modo de operação, perdem vida útil e eficiência. Dependendo da variabilidade e do tipo de operação, o ganho em sustentabilidade pode ser muito reduzido ou mesmo inexistente [1,2]

Em princípio, o Brasil teria uma vantagem importante sobre a maioria dos outros países: a existência de grandes reservatórios hidroelétricos que, mesmo insuficientes para uma regulação a médio e longo prazo (meses ou anos) seriam capazes de modular a geração ao longo do dia, de forma a “suprir os déficits” de renováveis. Por exemplo, a redução da produção eólica, devida ao enfraquecimento dos ventos em determinado momento (previsível ou não), seria facilmente compensada com o aumento da produção hidráulica – que responde quase que instantaneamente ao despacho.

Este trabalho discutirá o caso específico brasileiro, mostrando vantagens e limitações de nossa matriz energética.

A Segurança de abastecimento

A carga deve ser suprida mesmo em cenários climatológicos adversos. Insegurança leva ao risco de racionamento, que se prolongará (como já experimentamos) por meses ou até mesmo anos.

Vale notar que não é possível, a princípio, garantir o suprimento para todo e qualquer cenário climatológico. Por um lado, a proteção absoluta nunca existirá: vivendo em um contexto de mudanças climáticas, é praticamente impossível conhecer a priori a evolução das hidrologias, ventos, radiações – a natureza é pródiga em nos oferecer surpresas. Por outro lado, a proteção absoluta seria excessivamente onerosa: a proteção para uma seca anormal, ou para uma calmaria extrema, levaria à sobre-instalação de usinas redundantes, normalmente ociosas – o que levaria a um custo excessivo para um país ainda com tantas necessidades de investimentos básicos.

Assim, é normal, e tecnicamente recomendada, a adoção de critérios de risco – por exemplo, a carga deve ser suprida em, digamos, 95% dos cenários climatológicos previstos. Haverá sempre uma possibilidade de perda de suprimento, a ser mitigada por redução de carga ou instalação de fontes complementares.

A Confiabilidade de abastecimento

A carga deve ser suprida mesmo em face de falhas fortuitas geração/transmissão). Falta de confiabilidade leva a risco de cortes súbitos de energia, possivelmente afetando grandes regiões ou todo o país.

Vale notar que confiabilidade e segurança são conceitos próximos mas não iguais. A segurança de abastecimento é normalmente causada por hidrologias desfavoráveis, que levam ao deplecionamento dos reservatórios; se os níveis de armazenamento atingirem limites críticos (que impeçam a geração) podem levar meses, e até anos até o re-enchimento.

Ao contrário, a falta de confiabilidade leva à perda de carga por quedas de linhas ou equipamentos de transmissão/distribuição. Embora o tenham o potencial de atingir todo o país (já que o sistema é interligado) o tempo necessário para sanar os defeitos é relativamente curto (normalmente algumas horas, raramente superior a um dia).

Em poucas palavras, pode-se dizer que a perda de segurança leva a um racionamento longo, embora possa ser programado – a sociedade é informada com alguma antecedência, e pode geralmente escolher como reduzir seu consumo. A perda de confiabilidade leva a uma perda de carga que embora de duração mais rápida é repentina, não programada, e pode ter consequências desastrosas em indústrias que necessitem a continuidade de fornecimento (como fornos siderúrgicos).

Sustentabilidade

A carga deve ser suprida com energia limpa (a chamada energia verde), minimizando o uso de poluentes. Este é um aspecto que, embora ainda não comumente precificado no Brasil, é reconhecidamente um anseio da sociedade.

No Brasil, a busca por energia limpa concretiza-se na utilização das chamadas *renováveis* (eólicas, fotovoltaicas, etc.) que vêm sendo preferencialmente contratadas. O Brasil tem um excelente potencial para a energia limpa e uma interessante complementariedade – por exemplo, anos secos caracterizam-se normalmente por ventos melhores – e uma distribuição espacial bastante interessante, de forma a atender uniformemente à sua carga com renováveis bem espalhadas pelo país.

Vale notar que não se pretende, aqui, a substituição completa da energia termoelétrica. No entanto, é essencial que se reconheça a vocação brasileira para a sustentabilidade, evitando a utilização das fontes mais poluentes (e normalmente mais caras).

Modicidade

A carga deve ser atendida com o menor custo possível (cumpridos os requisitos anteriores de qualidade). Neste aspecto, a expressiva queda do custo das fontes renováveis tem sido forte aliada da modicidade: a sociedade brasileira pode contar com um suprimento adequado, sem abrir mão da modicidade e da sustentabilidade.

A SEGURANÇA E A CONTINUIDADE DE ATENDIMENTO

No Brasil, a segurança e a continuidade de atendimento andam juntas, porque ambas dependem do mesmo insumo: a disponibilidade de regulação nos reservatórios hidroelétricos, seja a curto prazo (no dia) seja a longo prazo (no mês e no ano). Por isso realizaremos uma análise conjunta, observando as diversas nuances do problema.

A necessidade de energia

O primeiro aspecto a ser analisado é a segurança de suprimento, considerado por muitos o ponto mais crítico a ser observado. Em realidade, a falta de segurança leva à possibilidade de uma redução compulsória de consumo por um prazo longo. Afeta não só o conforto (refrigeração, iluminação, entretenimento) mas também, e principalmente, os setores produtivos (indústria, comércio, serviços). Pode levar (e geralmente leva) à recessão econômica forte e duradoura, com todas as suas consequências, incluindo o desemprego e as crises sociais.

Brasil: um país que quer crescer

O Brasil não tem a dinâmica europeia, ou mesmo americana. É uma sociedade em crescimento, e que precisa de energia para crescer. Dados setoriais recentes [3], resumidos na Figura 1, mostram a projeção do crescimento esperado para a carga nos próximos anos: estima-se a necessidade de 11.140 MWmed em quatro anos – aproximadamente a soma das garantias físicas das usinas de Itaipu e Tucuruí. Em outras palavras, para fazer face ao crescimento, deveríamos construir o equivalente a uma Itaipu e uma Tucuruí até 2022.

Tabela 9. SIN. Projeção da carga de energia (MWmédio), 2018-2022

Subsistema	2018	2019	2020	2021	2022	2018-2022 (% a.a.)
Norte	5.682	6.049	6.428	6.843	7.287	6,4%
Nordeste	10.890	11.377	11.847	12.315	12.843	4,2%
Sudeste/CO	39.445	40.838	42.228	43.709	45.255	3,5%
Sul	11.542	11.923	12.330	12.787	13.315	3,6%
SIN	67.560	70.187	72.832	75.654	78.700	3,9%

Fonte: EPE/ONS/CCEE.

FIGURA 1 – PROJEÇÃO DO CRESCIMENTO DE CARGA, 2018/2022

A dependência hídrica: situação dos reservatórios

A situação ganha contornos mais vivos quando se percebe que nossa capacidade de armazenamento energético está esgotada. A Figura 2 mostra a redução gradativa da capacidade de armazenamento do sistema calculados pelo Ministério de Minas e Energia, apresentada em palestra pelo Dr. Hermes Chipp, na época diretor do ONS.

Em 2021, poderemos armazenar, no máximo o equivalente a três meses e meio de consumo. É o fim de nossa dependência hidroelétrica: sem uma expansão consistente em outras fontes, uma seca moderada pode levar o país ao racionamento em poucos meses.

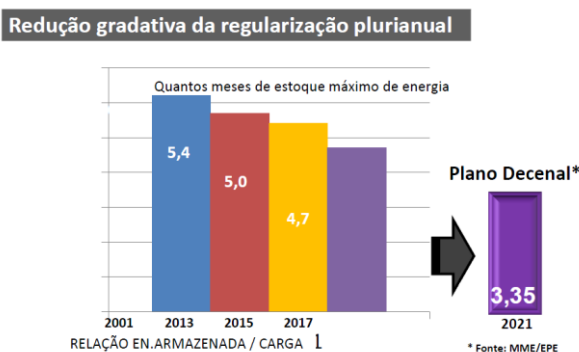


FIGURA 2 – ESGOTAMENTO DA CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO (FONTE: MME/EPE, APRESENTAÇÃO ONS)

Mais ainda, nem todas as usinas que dispõe de reservatórios podem usá-los satisfatoriamente. Por exemplo, a Figura 3 mostra a evolução típica do reservatório da usina de Belo Monte para as hidrologias máxima, média e mínima histórica. É possível notar que a usina praticamente não gera entre os meses de julho e novembro (junho e dezembro, dependendo da hidrologia). Em outras palavras, a geração não chega a atingir 20% de sua capacidade ao longo de metade do ano.

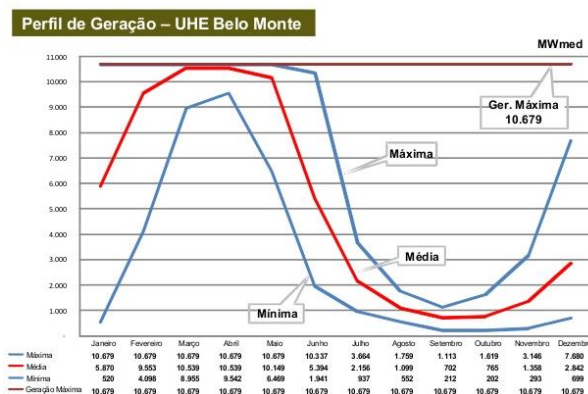


FIGURA 3 – EVOLUÇÃO DO RESERVATÓRIO DE BELO MONTE (FONTE: APRESENTAÇÃO ONS)

Na verdade, a Figura 1 é até otimista, já que considera a capacidade total de armazenamento brasileira. Há muitos anos nossos reservatórios estão longe desta capacidade máxima; o Sudeste e o Nordeste, ilustrado na Figura 4, exibe uma situação dramática: há muito não consegue o re-enchimento (replecionamento, em termos técnicos), apesar de todos os esforços do Operador do Sistema. Mesmo quando consegue algum alento, o faz às custas do deplecionamento do Sudeste (neste momento, por volta de 28% do máximo, um nível extremamente perigoso para a garantia de suprimento).

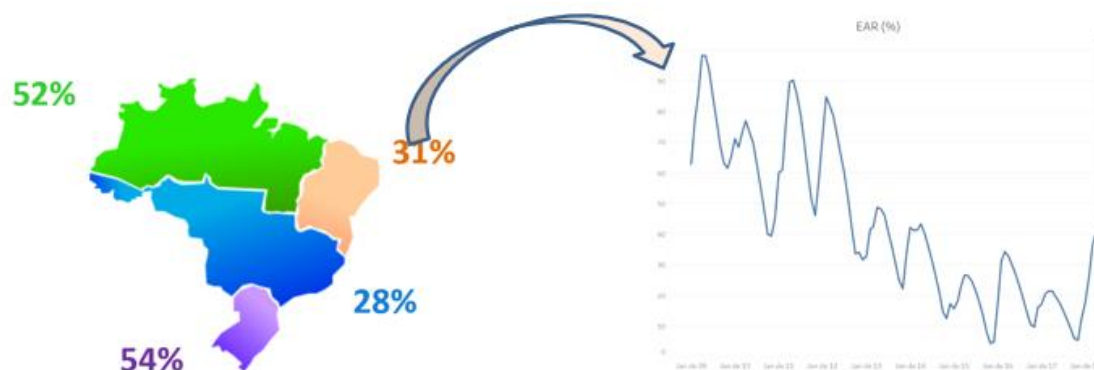


FIGURA 4 – NÍVEIS DE RESERVATÓRIOS AGREGADOS POR SUBMERCADO

As novas fontes como garantidoras do suprimento

Esgotada nossa principal fonte (a hidroelétrica), é hora de outras alternativas, e a energia eólica aparece como uma das principais estrelas. Além do generoso potencial eólico, a natureza brasileira é generosa: as dinâmicas climatológicas eólica e hídrica são complementares: normalmente anos mais secos correspondem a bons ventos, e vice-versa.

A Figura 5 mostra a evolução histórica dos dois potenciais, ilustrados através das velocidades de ventos média no território brasileiro em m/s) e as energias naturais afluentes totais (em percentagem da média histórica, ou Média a Longo Termo - MLT)). É possível notar o espelhamento – não completo, mas significativo. Os momentos de hidrologias mais baixas correspondem às velocidades de ventos mais altas. Se corretamente aproveitada, esta maravilhosa característica faz do Brasil um país único, que pode mitigar riscos climatológicos... com renováveis!

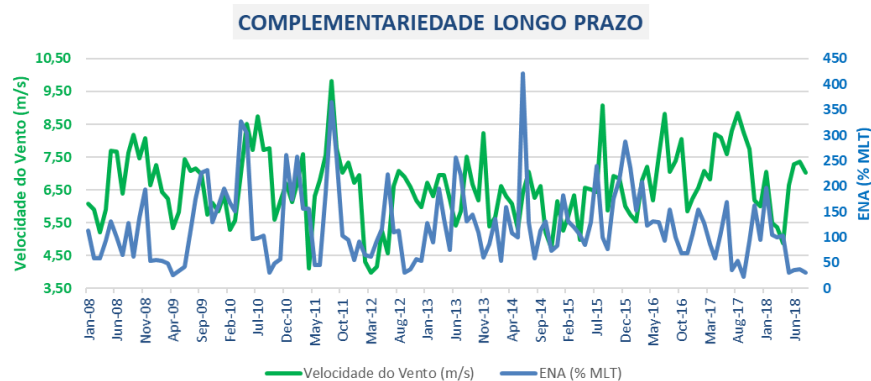


FIGURA 5 – COMPLEMENTARIEDADE ENTRE AS VELOCIDADES DE VENTOS MÉDIAS BRASILEIRAS E AS ENERGIAS HIDROELÉTRICAS EQUIVALENTES NO SUDESTE (FONTES: CDC/NOAA E ONS)

A penetração da geração de energia eólica, principalmente na região Nordeste, tem aumentado expressivamente, e sido efetivamente importante no atendimento à carga. No entanto, há um problema importante: o vento não é constante ao longo do dia. Com a seca que já dura seis anos e o esgotamento das reservas hídricas, a diferença entre a carga e a geração eólica, momento a momento, precisa ser suprida por geração térmica – neste momento, usada até seu máximo limite (a custos que ultrapassam a marca de R\$ 800/MWh).

Este fato é ilustrado na Figura 6, que compara a carga (conhecida, no jargão setorial, como requisito), em vermelho e a geração eólica em azul para um dia típico – neste caso, o dia 19 de agosto de 2018 (fonte: ONS). O dia foi escolhido propositalmente: havia um anúncio, na página inicial do ONS, de que a energia eólica no Nordeste atendia a totalidade da carga.

Na verdade, é possível notar que, embora em alguns momentos (por volta das 9 horas da manhã) a geração eólica seja capaz de suprir a carga do Nordeste, a variabilidade ao longo do dia requer um forte complemento – em alguns momentos, de metade de toda a carga (por volta de 18 horas). Este déficit não pode ser suprido por energia hidráulica – indisponível – e é necessário acionar ao máximo a geração térmica e a importação de outras regiões, levando a uma operação mais cara e mais fragilizada (já que requer o transporte de grandes volumes de energia).

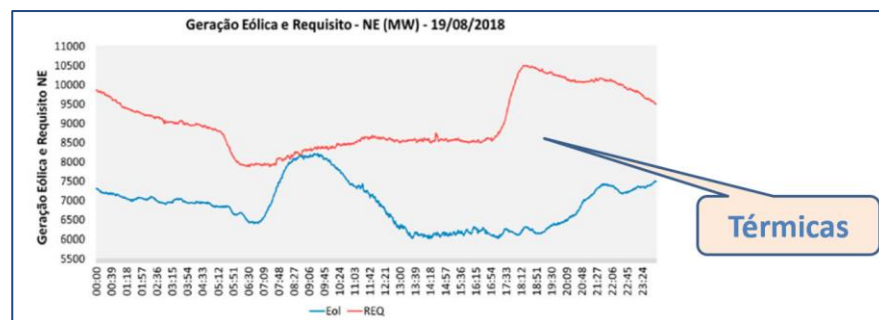


FIGURA 6 – GERAÇÃO EÓLICA(AZUL) X CARGA (VERMELHO), 19/08/2018

As eólicas no Sul

O padrão de geração de energia eólica na região Sul é bastante distinto do da região Nordeste (os dois grandes polos da fonte no país). A diferença pode ser percebida na Figura 7, que mostra a geração horária para cada dia de agosto [4] (cada linha representa um dia). Máximas e mínimas (conhecidas como envoltórias) são realçadas em vermelho, e a geração média é realçada em azul. Pode-se notar que, independentemente do dia (mais ou menos vento) há um padrão bem marcado, com máximas entre 8 e 9 horas pela manhã e 23-24 horas pela noite. As mínimas ocorrem entre 14 e 15 horas da tarde, quando o vento é mais calmo. Vale notar que estão aí incluídas as gerações de todos os estados; a variabilidade local – digamos, no litoral do Ceará e no interior da Bahia é ainda mais marcada.

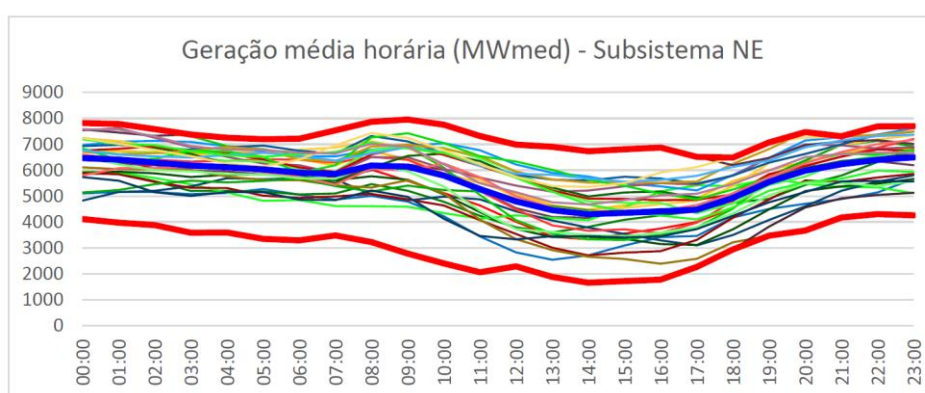


Figura 37 - Geração eólica no subsistema Nordeste em base horária para todos os dias do mês. Em destaque, é mostrada a geração mínima, máxima e média para cada hora.

FIGURA 7 – GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA AO LONGO DE CADA DIA NA REGIÃO NORDESTE (FONTE: ONS)

Ao contrário, o padrão de geração eólica da região Sul, ilustrado na Figura 8, mostra a inexistência de um “gap” de energia marcado. ***É possível notar que, em média, a geração é constante ao longo do dia (curva azul), bem como a máxima e a mínima (curvas vermelhas).***

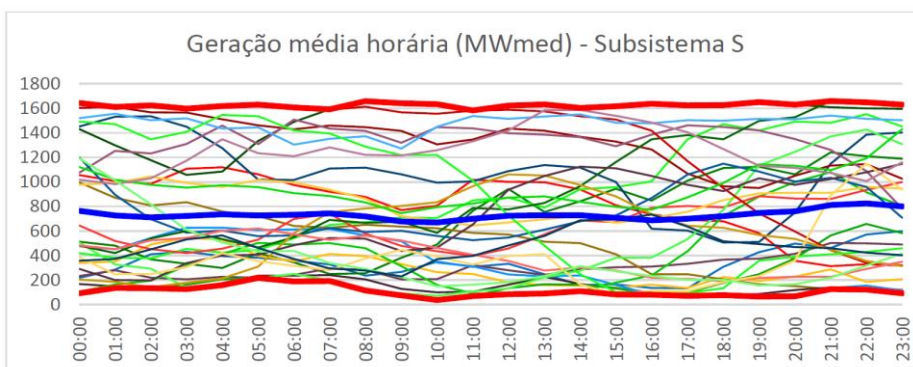


Figura 38 - Geração eólica no subsistema Sul em base horária para todos os dias do mês. Em destaque, é mostrada a geração mínima, máxima e média para cada hora.

FIGURA 8 - GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA AO LONGO DE CADA DIA NA REGIÃO SUL (FONTE: ONS)

Mas a região Sul oferece uma vantagem adicional. Ao contrário do Nordeste, o déficit de energia eólica para o atendimento à carga (gap, na linguagem técnica) pode ser coberto, com folga, com a disponibilidade hídrica. A Figura 9 mostra a geração, para o mesmo dia em análise (19/08/2018) por fonte, por região, segundo o ONS.

Pode-se notar que a região Nordeste exibe um volume muito alto de geração térmica (quase 3 GWmed, praticamente o dobro da energia hidroelétrica). Praticamente todo o potencial está em uso, e as autoridades setoriais falam em instalar ainda mais usinas termoelétricas na região. Um volume maior de potência eólica instalada levaria, possivelmente, a um despacho ainda maior de térmicas, necessárias para a complementação dos momentos de ventos fracos.

Ao contrário, a região Sul exibe um volume muito alto de energia hidroelétrica (mais de 11 GWmed); a energia termoelétrica pouco passa de 1 GWmed, menos que 10% da carga total. Mais ainda, vê-se a pequena quantidade de energia eólica – consistente com o baixo aproveitamento do potencial local. Neste caso, um aumento de potencial eólico instalado poderia levar à substituição do despacho térmico (já que os momentos de ventos mais fracos podem ser compensados com energia hidroelétrica).

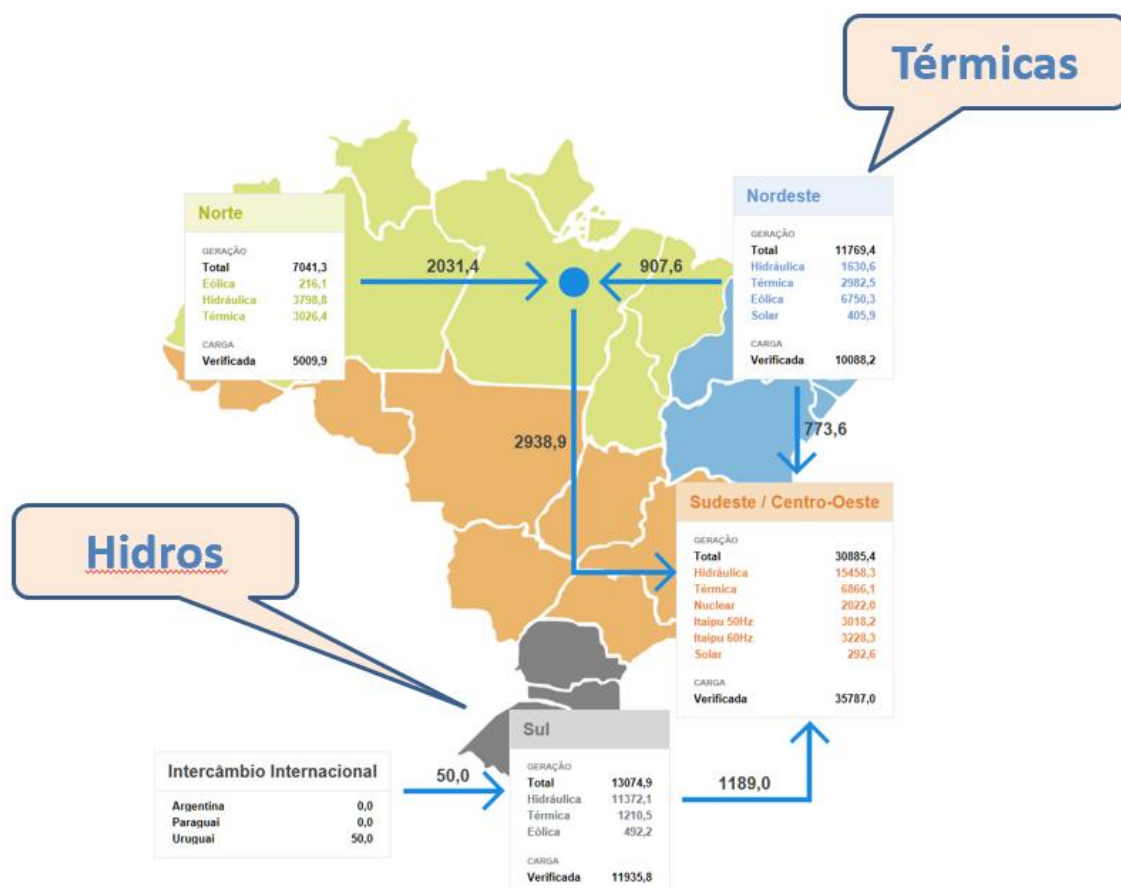


FIGURA 9 – GERAÇÃO POR FONTE EM TODO O BRASIL, 19/08/2018 (FONTE: ONS)

A expansão de energia eólica nas regiões Nordeste e Sul provocam consequências muito distintas. O Nordeste sofre há mais de vinte e cinco anos uma seca que impede o replecionamento de seus reservatórios; nesta região, os momentos de baixo vento exigem a entrada das usinas termoelétricas. Já o Sul dispõe de reservas hídricas suficientes para fazer esta complementariedade, e as eólicas podem substituir, de forma sustentável e econômica, o despacho térmico.

Em outras palavras, enquanto que as eólicas do Nordeste aumentam a necessidade de um maior despacho térmico, as eólicas no Sul o reduzem – e são as únicas capazes de oferecer ao Sul, e a todo o país, uma energia mais limpa e econômica.

A CONFIABILIDADE

O conceito de confiabilidade é ligado à perda de carga associado a falhas fortuitas, normalmente de geração/transmissão [5]. Em um país interligado, como o Brasil, os desligamentos por perdas de componentes podem “propagar-se” por todo o sistema, atingindo Norte a Sul. Embora de duração relativamente curta (horas, raramente chegando a um dia), sua abrangência geográfica pode causar sérios impactos ao consumidor, notadamente à indústria.

A expansão brasileira

A Figura 10 apresenta a tendência da expansão brasileira: inserção de grandes usinas na Amazônia (as chamadas “estruturantes”) e eólicas, notadamente na região Nordeste. As cargas concentram-se majoritariamente no Sul/Sudeste, exigindo portanto o deslocamento de grandes volumes de energia entre regiões (tecnicamente, a energia não se desloca; esta é uma figura de linguagem para melhor entendimento).



FIGURA 10 – TENDÊNCIA DA EXPANSÃO BRASILEIRA

O resultado pode ser apreciado na Figura 11, que apresenta o diagrama da transmissão no Brasil como usado pelo ONS.

É possível notar os “ramos” para a Amazônia e para o Nordeste; é possível observar também que a ligação Nordeste/Sudeste é relativamente singela, e apoia-se em poucos ramos. Uma falha significativa em qualquer uma destas ligações pode isolar regiões, e causar “blackouts” de grandes proporções.

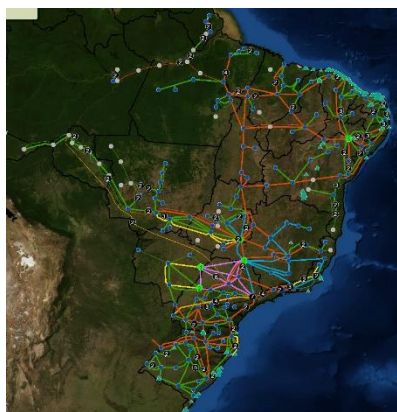


FIGURA 11 – REDE DE TRANSMISSÃO BRASILEIRA (ONS)

A confiabilidade de uma rede apoia-se em redundâncias – normalmente, nas chamadas “malhas”, capazes de oferecer “caminhos alternativos à energia” em caso de falha de algum circuito.

Sabe-se que será difícil, no caso brasileiro, construir caminhos alternativos à energia da Amazônia, por exemplo. Isto significaria abrir novas linhas pela floresta, a um custo econômico e ambiental proibitivos (ao menos neste momento). Na falta destes caminhos, é importante uma reserva regional, capaz de garantir o abastecimento ou pelo menos minimizar a propagação dos desligamentos.

As eólicas no Sul

Neste contexto, a instalação de geração na região Sul aumenta a confiabilidade regional **e nacional**. Vale notar que a variabilidade das eólicas não prejudica a confiabilidade. Nos períodos em que geram, as eólicas substituem energia hidroelétrica, que “guarda suas reservas” e pode responder mais efetivamente às emergências.

Em outras palavras, a existência de uma capacidade regional de geração aumenta a robustez não apenas local, mas de todo o país. Um núcleo regional melhora a confiabilidade nacional, mitigando riscos de desabastecimento e “cortando” a propagação de blackouts nacionais. Como já mencionado, a variabilidade no Sul não prejudica sua contribuição ao sistema, já que permite uma melhor resposta das hidroelétricas a possíveis falhas.

MODICIDADE E SUSTENTABILIDADE

A modicidade e a sustentabilidade vêm sendo apresentadas como antagônicas – em muitos países, a “energia verde” é mais cara, e o consumidor paga um ônus pesado por esta qualidade desejada.

No Brasil, entretanto, este antagonismo não necessariamente existe. O custo da energia eólica cai a cada ano, e a energia verde há muito é competitiva com as outras fontes – principalmente as termoeletricas, cujo custo de combustível é sempre uma incógnita.

No momento atual, a sustentabilidade pode ser alcançada com economia, desonerando o consumidor, oferecendo a ele uma energia limpa e econômica.

ALGUMAS SIMULAÇÕES

Os conceitos e idéias discutidos anteriormente serão melhor evidenciados através de análises numéricas com o sistema de energia elétrica brasileiro. Buscamos responder à pergunta:

Qual seria o impacto da inserção de 3 GW na região Sul brasileira?

Para respondê-la, comparamos a simulação do desempenho do sistema brasileiro com e sem o acréscimo eólico. Todos os modelos/programas são compatíveis com os utilizados pelo ONS e seus resultados coerentes com a operação real.

Segurança

A Figura 12 apresenta o impacto do acréscimo de 3 GW na região sul ao risco de abastecimento (também conhecido como risco de racionamento). Pode-se observar que o risco está longe de ser pequeno; os reservatórios estão já em níveis críticos e precisamos contar com uma virada climatológica importante para refazer nossas reservas e garantir o abastecimento da carga.

É interessante como um incremento relativamente pequeno pode oferecer uma redução tão significativa ao risco de suprimento: aproximadamente 25% em 2018 e 22% em 2019. Mais ainda, o risco não é amenizado apenas na região Sul, ***mas em todo o Brasil.***

	Probabilidade de racionamento		
	S/ Eólicas	C/ Eólicas	Diferença
2018	25,30	19,01	24,86%
2019	27,11	21,22	21,73%

FIGURA 12 – IMPACTO DO ACRÉSCIMO DE 3 GW EÓLICOS NA REGIÃO SUL AO RISCO DE ABASTECIMENTO

Confiabilidade

A Figura 14 apresenta os índices de confiabilidade apurados para o sistema brasileiro para o período 2018-2023, mensurados pelos vários indicadores setoriais: probabilidade de perda de carga, em qualquer montante (Loss of Load Probability, LOLP, em %), probabilidade de perda de carga (qualquer montante) em dias por ano e expectativa da carga perdida, em MWmed.

Talvez a probabilidade de perda de carga pareça pequena, em números absolutos – afinal, a probabilidade de perda de carga máxima, atingida em 2023, é igual a apenas 5,85%, que pode parecer um valor reativamente baixo, aceitável para a sociedade.

Vale notar, entretanto, que este mesmo valor parece alto se pensamos em número de dias por ano associados ao possível blackout. Em 2018, veríamos um “pequeno apagão” 2 dias por ano; em 2023, 21 dias por ano (quase um mês de intercorrências). É um valor inaceitável para o país, que depende da energia elétrica para funcionar. Mais ainda, o valor esperado da carga cortada não é desprezível: chega a 4 GW med em 2023.

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
LOLP %	0,52	1,08	1,56	3,17	4,32	5,85
LOL d/a	1,90	3,94	5,69	11,57	15,77	21,35
EENS Mwmed	716	1183	1912	3027	3679	4012

FIGURA 13 – ÍNDICES DE CONFIABILIDADE DO SISTEMA BRASILEIRO, 2018-2023

A Figura 14 mostra o impacto da inserção de 3 GW à região Sul. Pode-se notar o enorme impacto: a redução da probabilidade de perda de qualquer carga varia entre 30 a quase 50%; a redução da carga cortada esperada varia entre 25 e 40%. Como no caso anterior, o benefício não se restringe à região Sul, propagando-se-se para todo o país.

	LOL dias/ano			Energia não Suprida Mwmed		
	S/ Eólicas	C/ Eólicas	Diferença	S/ Eólicas	C/ Eólicas	Diferença
2018	1,90	1,28	32,76%	716	428	40,22%
2019	3,94	2,63	33,30%	1183	711	39,90%
2020	5,69	3,58	37,14%	1912	1185	38,02%
2021	11,57	6,68	42,27%	3027	2216	26,79%
2022	15,77	8,25	47,69%	3679	2799	23,92%
2023	21,35	14,67	31,27%	4012	3005	25,10%

FIGURA 14 – IMPACTO DO ACRÉSCIMO DE 3 GW EÓLICOS NA REGIÃO SUL À CONFIABILIDADE NO BRASIL

Modicidade e Sustentabilidade

Finalmente, simulamos as consequências da inserção de 3 GW de energia eólica em termos de modicidade e sustentabilidade.

Redução do despacho termoelétrico

Como não conhecemos o futuro, só poderíamos trabalhar com cenários e expectativas, que ficariam no campo da incerteza. Para trabalhar com mais assertividade, escolhemos a simulação de anos já vividos e conhecidos: o período janeiro de 2013 – julho de 2018, ilustrada na Figura 15. Para realizar a comparação de custos, tomamos uma hipótese relativamente conservadora: assumimos um custo igual a R\$ 180/MWh para a geração eólica – o que significa que ela substitui apenas as termoelétricas com custo superior a este valor. Não foram computados os custos de disponibilidade – em outras palavras, não há quebra de contratos, e assumimos que o sistema continua pagando o custo fixo das termoelétricas existentes.

Ano	Economia (R\$ milhões)	Emissões Evitadas (MtCO2)
2013	3.578	5,46
2014	4.106	5,84
2015	3.604	5,76
2016	2.179	5,56
2017	2.315	5,41
2018	1.220	3,78
TOTAL	17.001	31,80

FIGURA 15 – IMPACTO DO ACRÉSCIMO DE 3 GW EÓLICOS NA REGIÃO SUL À MODICIDADE E SUSTENTABILIDADE
BRASILEIRAS

Mesmo sob condições conservadoras (custo eólico maior que o recentemente observado, manutenção do custo fixo das termoelétricas), a economia em gastos econômicos e ambientais é muito significativa: seriam evitados **16 bilhões de reais e 31,80 MtCO2 até julho de 2018**.

Novamente, é importante notar que estes são resultados **nacionais**: as eólicas no Sul liberam energia hidroelétrica diretamente conectada ao Sudeste e ao Brasil, reduzindo a necessidade de despacho térmico para o suprimento do país, como um todo.

Redução dos preços de curto prazo

A redução da necessidade de utilização de térmicas reflete-se nos sinais de preços. A Figura 16 mostra a expressiva redução de preços PLD que seria consequente da disponibilidade de 3 GW eólicos adicionais na região Sul durante o período jan 2013 – julho 2018. Pode-se perceber uma redução a, em média, metade de seus valores originais. Essa redução, a exemplo das anteriores, atinge todo o país, gerando uma energia mais barata para toda a população.

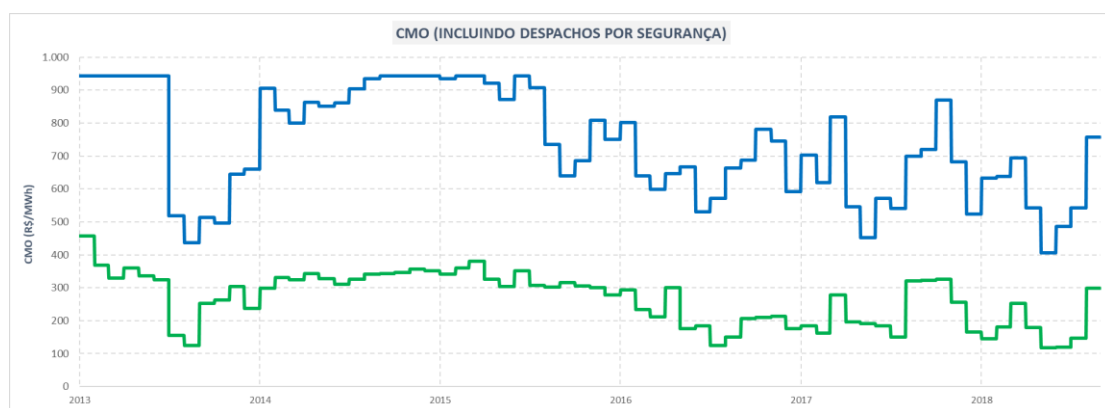


FIGURA 16 – IMPACTO DO ACRÉSCIMO DE 3 GW EÓLICOS NA REGIÃO SUL NO PREÇO DE LIQUIDAÇÃO DE DIFERENÇAS PLD

CONCLUSÕES

O diferencial das eólicas no Sul

O impacto da penetração da energia eólica nas regiões Sul e Nordeste exibem características muito diferentes. No Nordeste, o esgotamento hídrico faz com que a energia eólica necessite de uma forte complementação térmica. A exemplo de outros países no mundo, onde a fonte hidroelétrica não é disponível, a variabilidade eólica leva a despachos termoeletricos intermitentes, que além de onerosos aumentam a quantidade de emissões atmosféricas. Perde-se parte da grande atratividade da fonte: a economia e a sustentabilidade.

No Sul, ao contrário, a variabilidade é complementada pela hidroeletricidade. A eólica pode ser vista como uma forma de “armazenamento”, já que sua geração permite o aumento dos estoques de água – que podem ser melhor geridos, disponibilizando ao Sul e ao país energia mais econômica, segura e sustentável.

O impacto na segurança

Como as eólicas do Sul aumentam a capacidade de regularização, reduzem o risco de racionamento. ***Nossas simulações mostram que a disponibilização de apenas 3 GW adicionais de energia eólica no Sul do país levariam a um risco de racionamento aproximadamente 25% menor em 2018 e 20% menor em 2019.***

O impacto na confiabilidade

Sabe-se que a disponibilidade de geração regional reduz a necessidade de transferência de grandes blocos de energia a grandes distâncias, “firmando” a energia local e reduzindo a propagação de surtos pela rede (e consequentemente pelo país). O aumento de energia eólica possibilita o aumento do armazenamento hidroelétrico, e portanto a capacidade de resposta do sistema a grandes perturbações (vale sempre lembrar que a energia hidroelétrica é a que oferece maior despachabilidade).

Nossas simulações mostram que a disponibilização de apenas 3 GW adicionais de energia eólica no Sul do país levariam à redução de 37,4% na probabilidade de perda de carga e 32,3% do corte de carga esperado.

O impacto na modicidade e sustentabilidade

O aumento da regulação e da capacidade de geração leva à redução do despacho térmico, e consequentemente à economia de custos e emissões. Vale sempre lembrar que esta é uma vantagem competitiva da região Sul, já que o Nordeste não dispõe de reservatórios hidroelétricos em condições de operação normal.

Nossas simulações mostram que a disponibilização de apenas 3 GW adicionais de energia eólica no Sul do país levariam à economia de 16 bilhões de reais e 31,80 MtCO₂ entre janeiro de 2013 e julho de 2018. Mostraram ainda que o PLD seria reduzido, em média a 50% de seu valor original.

O benefício que se espalha pelo Brasil

Como já comentado, o benefício principal das eólicas do Sul é o aumento da capacidade de gestão dos reservatórios – não apenas do Sul mas do Sudeste, eletricamente interligado, com reflexos a todo o país, de norte a sul.

Todos os valores aqui apresentados foram calculados com abrangência nacional, e os benefícios apontados são auferidos por toda a sociedade brasileira.

A real expansão eólica ótima

As simulações aqui apresentadas consideram a inclusão de apenas 3 GW: um montante bastante reduzido de geração eólica, em comparação com o potencial regional. A escolha por este valor foi proposital: a intenção era mostrar que uma pequena capacidade levaria a um ganho expressivo para o país.

O valor ótimo da expansão eólica no Sul do país é provavelmente muito maior e deve ser determinado por estudos de planejamento mais aprofundados. No entanto, as simulações aqui descritas apontam para a uma oportunidade de aproveitamento que, se bem explorada, pode gerar amplos benefícios para toda a sociedade brasileira.

REFERÊNCIAS

- [1] E. Denny, M. O'Malley, "Wind Generation, Power System Operation and Emissions Reduction", IEEE Transactions on Power Systems, 2005
- [2] Debra Lew, Greg Brinkman, Nikhil Kumar, Steve Lefton, Gary Jordan, and Sundar Venkataraman, "Finding Flexibility - Cycling the Conventional Fleet", IEEE Power and Energy Magazine, november/december 2013, disponível em <http://magazine.ieee-pes.org/files/2013/10/2013nov-lew.pdf>
- [3] Nota Técnica EPE/ONS/CCEE "1ª Revisão Quadrimestral das Projeções da demanda de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional 2018-2022", junho de 2018, disponível em [http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-305/NT%201%C2%AA%20Revis%C3%A3o%20Quadrimestral%202018_FINAL%20\(20180625\)_NUMERADA_corre%C3%A7%C3%A3o_anexo.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-305/NT%201%C2%AA%20Revis%C3%A3o%20Quadrimestral%202018_FINAL%20(20180625)_NUMERADA_corre%C3%A7%C3%A3o_anexo.pdf)
- [4] ONS, "Boletim Mensal de Geração Eólica", agosto de 2018, disponível em http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Boletim_Eolica_ago_2018.pdf
- [5] M.V.F. Pereira ; L.M.V.G. Pinto, "A new computational tool for composite reliability evaluation", IEEE Transactions on Power Systems (Volume: 7 , Issue: 1 , Feb. 1992)