

# **Desafios da Transmissão no Longo Prazo**

**Documento de Apoio ao PNE 2050**

**Dezembro de 2018**

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco para o adequado alinhamento de páginas na impressão com a opção frente e verso - "double sided")



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE

MINISTRO DE ESTADO  
WELLINGTON MOREIRA FRANCO

PRESIDENTE  
REIVE BARROS DOS SANTOS

SECRETÁRIO EXECUTIVO  
MÁRCIO FELIX CARVALHO BEZERRA

DIRETOR DE ESTUDOS ECONÔMICO-ENERGÉTICOS E AMBIENTAIS  
THIAGO VASCONCELLOS BARRAL FERREIRA

SECRETÁRIO DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO  
EDUARDO AZEVEDO RODRIGUES

DIRETOR DE ESTUDOS DE ENERGIA ELÉTRICA  
AMILCAR GONÇALVES GUERREIRO

SECRETÁRIO DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E COMBUSTÍVEIS  
JOÃO VICENTE DE CARVALHO VIEIRA

DIRETOR DE ESTUDOS DO PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS  
JOSÉ MAURO FERREIRA COELHO

SECRETÁRIO DE ENERGIA ELÉTRICA  
ILDO WILSON GRUDTNER

DIRETOR DE GESTÃO CORPORATIVA  
ÁLVARO HENRIQUE MATIAS PEREIRA

SECRETÁRIO DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E  
TRANSFORMAÇÃO MINERAL  
VICENTE HUMBERTO LÔBO CRUZ

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE

ESPLANADA DOS MINISTÉRIOS  
BLOCO U – 5º ANDAR  
70065-900 – BRASÍLIA – DF  
TEL.: (55 61) 3319 5299  
FAX: (55 61) 3319 5067

*ESCRITÓRIO CENTRAL*

AV. RIO BRANCO, 01 – 11º ANDAR  
20090-003 – RIO DE JANEIRO – RJ  
TEL.: (55 21) 3512 3100  
FAX : (55 21) 3512 3198

WWW.MME.GOV.BR

WWW.EPE.GOV.BR

Dezembro 2018

# Participantes - EPE

---

## COORDENAÇÃO EXECUTIVA

EMÍLIO HIROSHI MATSUMURA

THIAGO VASCONCELLOS BARRAL FERREIRA

## COORDENAÇÃO TÉCNICA

FATIMA GAMA

THIAGO DOURADO

## EQUIPE DE APOIO

CLEITON LEANDRO ALVES FERREIRA (ESTAGIÁRIO)

## EQUIPE TÉCNICA

ALFREDO LIMA SILVA

DIEGO PINHEIRO ALMEIDA

RENATA DE AZEVEDO MOREIRA DA SILVA

RONEY NAKANO VITORINO

THIAGO GALVÃO

## 1. Introdução

Este relatório aborda os principais desafios associados à expansão do sistema de transmissão de energia elétrica do País e prescreve as recomendações gerais para o desenvolvimento do planejamento respectivo.

A evolução do sistema de transmissão é fundamental para permitir que os agentes de mercado tenham livre acesso à rede, possibilitando o estabelecimento de um ambiente propício para a competição na geração e na comercialização de energia elétrica no sistema interligado.

Atualmente, o Sistema Interligado Nacional (SIN) é constituído por uma complexa malha de transmissão que abrange aproximadamente 135.000 km de linhas de transmissão em níveis de tensão entre 230 kV e 800 kV. Em 10 anos, essa extensão deve chegar a mais de 200.000 km em 2027 (PDE 2027).

Contudo, a expansão do sistema de transmissão de energia elétrica não apenas no horizonte decenal, mas até 2050, deverá endereçar desafios que foram agrupados em 7 grandes temas:

1. Exploração do potencial hidrelétrico na Amazônia.
2. Aumento da complexidade socioambiental e fundiária.
3. Impactos das mudanças climáticas.
4. Crescimento das fontes intermitentes na matriz elétrica.
5. Expansão de Redes Elétricas Inteligentes e Geração Distribuída
6. Envelhecimento do sistema existente.
7. Integração Energética da América Latina.

Na seção 2, cada desafio é descrito em seus possíveis efeitos sobre a o planejamento e execução da expansão do setor.

Por fim, na última seção é apresentada uma série de 7 recomendações gerais para o desenvolvimento dos estudos e da execução do planejamento do sistema de transmissão de energia elétrica, elencados a seguir:

1. Acompanhar a evolução tecnológica internacional;
2. Desenvolver instrumentos legais que assegurem as condições de implantação de novos projetos;
3. Priorizar a implantação de linhas de transmissão novas dentro de faixas de servidão e de linhas existentes;
4. Aumentar a capacidade de transporte do sistema a partir de intervenções em linhas de transmissão existentes;
5. Promover ações para otimizar o aproveitamento do sistema de transmissão existentes;
6. Avaliar a criação de fundos setoriais para auxiliar a substituição de equipamentos com vida útil ultrapassada; e
7. Avaliar modelos mais adequados ao planejamento da expansão do sistema elétrico.

Tais recomendações procuram garantir os pilares de economicidade, segurança e sustentabilidade no suprimento de eletricidade no longo prazo.

## 2. Desafios

São elencados 7 desafios a serem considerados nos estudos de planejamento de longo prazo, a serem detalhados a seguir:

1. Exploração do potencial hidrelétrico na Amazônia.
2. Aumento da complexidade socioambiental e fundiária.
3. Impactos das mudanças climáticas.
4. Crescimento das fontes intermitentes na matriz elétrica.
5. Expansão de Redes Elétricas Inteligentes e Geração Distribuída
6. Envelhecimento do sistema existente.
7. Integração Energética da América Latina.

### 2.1. Exploração do potencial hidrelétrico da Região Amazônica

Historicamente, a hidreletricidade tem sido a principal fonte de geração do sistema elétrico brasileiro. Essa expressiva participação na matriz elétrica se deve ao grande potencial hidrelétrico do país e às várias vantagens que esta fonte de geração de energia elétrica apresenta com relação às demais.

Com efeito, trata-se de uma fonte de geração renovável, economicamente competitiva, além de apresentar grande flexibilidade operativa, capaz de responder às flutuações de demanda quase instantaneamente, o que é particularmente importante considerando a crescente exploração de fontes renováveis intermitentes, notadamente das fontes eólica e fotovoltaica.

Uma das grandes dificuldades para a exploração da fonte hidrelétrica é que os novos aproveitamentos estão cada vez mais distantes dos grandes centros de consumo, como é o caso do potencial da Região Amazônica, resultando na necessidade de investimentos adicionais em longas

linhas de transmissão para o escoamento da produção de eletricidade.

Pode-se afirmar que já existem tecnologias consagradas capazes de transmitir grandes blocos de energia por longas distâncias, motivo esse pelo qual entende-se que o sistema de transmissão não representa nenhum entrave para a implantação de novas usinas hidrelétricas no país sob o aspecto técnico.

Ao mesmo tempo, reconhece-se que as questões socioambientais e fundiárias tendem a introduzir desafios crescentes para a implantação dos projetos de transmissão responsáveis pelo escoamento da potência produzida pelas usinas, dependente do porte e da localização das novas fontes. Em última instância, essa condição pode acarretar descompassos indesejáveis entre a entrada em operação dos empreendimentos previstos para os setores de geração e de transmissão de energia.

## 2.2. Complexidade socioambiental e fundiária para a expansão do sistema

No Brasil, a implantação de novos projetos de transmissão tem se tornado cada vez mais complexa em função de aspectos socioambientais e fundiários. Dentre os principais elementos complicadores para a execução das obras, aponta-se as crescentes restrições estabelecidas na legislação ambiental, bem como a dinâmica de ocupação do solo e da realização de atividades produtivas.

No tocante à dinâmica de ocupação do solo, principalmente no caso de regiões metropolitanas ou de cidades médias, torna-se um grande desafio identificar corredores para a passagem de novas linhas de transmissão e/ou terrenos para a alocação de subestações de energia.

Dentro desse contexto, o intenso processo de parcelamento do solo, as ocupações irregulares, a presença de zonas industriais e comerciais, e a criação de áreas protegidas de caráter histórico, patrimonial, turístico ou ambiental têm representado grandes dificuldades para a implantação de novos empreendimentos de transmissão.

Essa condição contribui para que as obras recomendadas no planejamento setorial não entrem em operação na data de sua efetiva necessidade, implicando em problemas elétricos que podem variar dependendo do propósito das instalações. Tal condição tende a se agravar nos próximos anos.

## 2.3. Impactos das mudanças climáticas

Não há dúvidas de que o processo global de mudanças climáticas, potencializado pelo grau de emissão dos gases causadores do efeito estufa (GEE), afetará sobremaneira a operação futura do sistema de transmissão no Brasil, assim como o próprio planejamento e a concepção das novas instalações de transmissão.

Em termos gerais, o processo de mudanças climáticas impacta uma série de variáveis, dentre as quais pode-se citar a amplitude das temperaturas regionais, os níveis de radiação solar, a intensidade dos ventos, a densidade do ar, assim como a intensidade/frequência das chuvas e das descargas atmosféricas.

Cabe ressaltar que algumas dessas variáveis podem atenuar significativamente a ampacidade dos cabos condutores das linhas e, conseqüentemente, a sua capacidade de transmissão. Ademais, o dimensionamento dos equipamentos e das estruturas que compõem o sistema de transmissão também pode ser impactado, com reflexo para os custos de sua implantação.

Certamente, essa condição representa um grande desafio a ser enfrentado, principalmente ao se considerar as crescentes dificuldades para a implantação de novas linhas de transmissão no país.

## 2.4. Crescimento da participação de fontes intermitentes na matriz energética

Para os próximos anos, espera-se um crescimento contínuo da participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira, principalmente as fontes eólica e fotovoltaica, que apresentam forte intermitência, inerente à natureza

variável dos recursos que são empregados por estas fontes. Em função da característica dessas fontes e da sua própria localização, é possível que a demanda pela ampliação do sistema de transmissão

crezca a fim de viabilizar o escoamento da energia a ser gerada por elas.

A grande dificuldade nesse processo é que, enquanto a implantação das novas linhas de transmissão tem sido fortemente impactada por restrições socioambientais e fundiárias, os prazos associados à construção de usinas eólicas e fotovoltaicas vêm se mostrando cada vez mais enxutos por se tratarem de usinas de menor porte. Soma-se a isso o fato de que o planejamento da transmissão apresenta caráter determinativo enquanto o planejamento da geração é essencialmente indicativo.

Essas questões trazem ao planejador o desafio de recomendar, antecipadamente e com mínimo arrependimento, um plano de obras flexível capaz de propiciar a transmissão da energia das usinas a serem efetivamente construídas com segurança, qualidade, confiabilidade e, principalmente, sem riscos de descompasso entre os empreendimentos de geração e transmissão.

Destaca-se que esse desafio, já vivenciado hoje, tende a se agravar no futuro com o aumento esperado de inserção das fontes eólica e fotovoltaica no sistema.

## 2.5. Presença de Redes Elétricas Inteligentes (REI) e Geração Distribuída (GD)

O conceito de Redes Elétricas Inteligentes (REI) é amplo e engloba uma série de tecnologias, como medidores inteligentes, automação de rede, telecomunicação, Geração Distribuída (GD) entre outras.

Com esses novos avanços tecnológicos, espera-se que o sistema elétrico ganhe alternativas de flexibilidade, se torne mais dinâmico aos requisitos operativos instantâneos, e seja capaz de acomodar variações de geração, principalmente por conta das fontes fotovoltaica e eólica, podendo inclusive atuar como elemento facilitador da penetração desses recursos renováveis variáveis no sistema.

A integração dos REI é uma realidade para o futuro do sistema elétrico. Portanto, é fundamental que o tema seja internalizado nos estudos de planejamento, fato que representa um grande desafio. O sistema de distribuição, por exemplo, precisará ser avaliado sob uma outra ótica operativa

Historicamente, a rede de média/baixa tensão tem sido caracterizada pela incidência de fluxos elétricos unidirecionais das subestações de fronteira em direção às cargas. Agora, com as inúmeras possibilidades de constituição topológica da rede de distribuição aliada à GD e às cargas disruptivas, essas instalações poderão se tornar fontes de energia para o sistema de transmissão durante grandes intervalos de tempo.

## 2.6. Envelhecimento do sistema de transmissão

Atualmente, o sistema de transmissão brasileiro é composto por diversas instalações que se encontram envelhecidas. Naturalmente, esse cenário tende a se tornar mais crítico no futuro, dado o tempo de utilização dos equipamentos que permanecerão em operação.

Cumprir destacar que o envelhecimento do sistema é potencializado pela inserção massiva de fontes renováveis intermitentes na rede, que implica ciclos de carregamento e operação distintos e mais severos quando comparados àqueles tradicionalmente considerados durante o

dimensionamento e o projeto originais desses equipamentos.

Um grande desafio a ser enfrentado nas próximas décadas consiste, portanto, na substituição da infraestrutura do sistema elétrico à medida que ela for envelhecendo. Há que cuidar para que a malha de transmissão opere com os níveis de confiabilidade e qualidade exigidos pela sociedade.

### **2.7. Integração energética da América Latina**

Considerando-se as amplas reservas de energia presentes na América Latina e a tendência de crescimento da demanda local, torna-se estratégico para o Brasil avaliar as possibilidades de interligação do sistema elétrico nacional com o de outros países da região. No entanto, essa questão envolve uma série de desafios que precisam ser avaliados de forma mais detalhada.

Cumprir registrar que, dependendo do caso, o aproveitamento dos excedentes energéticos de

Ressalta-se que essas ações demandarão um volume de investimentos significativo, eventualmente até superando a capacidade financeira das empresas. Em última instância, pode-se comprometer a participação das empresas na expansão real do sistema, que por sua vez é fundamental para o desenvolvimento da economia.

outros países pode requerer a implantação de reforços de grande porte no sistema de transmissão a fim de escoar a energia importada para os principais centros consumidores brasileiros, localizados na região Sudeste. Dentro desse contexto, salienta-se que as variáveis socioambiental e fundiária podem ser determinantes para a viabilidade dos projetos e, portanto, das novas interligações internacionais.

### 3. Recomendações Gerais

#### 3.1. Acompanhar a evolução tecnológica internacional no segmento transmissão

Conforme comentado, os principais aproveitamentos hidrelétricos remanescentes no Brasil se localizam em regiões afastadas dos grandes centros de consumo, como é o caso do potencial existente na Região Amazônica.

Considerando-se as dificuldades socioambientais e fundiárias para a expansão do sistema elétrico nessas regiões, torna-se estratégico planejar o escoamento da energia dessas usinas a partir de troncos de transmissão com capacidades

operativas cada vez mais elevadas, seja em corrente alternada ou em corrente contínua.

Historicamente, a elevação da classe de tensão dos circuitos tem se mostrado uma solução bastante efetiva para alcançar esse objetivo. Cabe, portanto, acompanhar as evoluções tecnológicas realizadas da área de projeto de linhas. Em alguns países, por exemplo, já se observa a implantação de linhas de transmissão de 1.000kV.

#### 3.2. Desenvolver instrumentos legais que assegurem as condições de implantação das novas instalações de transmissão

Durante a elaboração dos estudos de planejamento para a expansão da transmissão, diversas reuniões são realizadas com os órgãos ambientais e intervenientes no processo de licenciamento ambiental com o intuito de obter insumos que possam auxiliar a caracterização das novas instalações com o menor impacto ambiental possível.

Ressalta-se, no entanto, que essas interações não asseguram a viabilidade de implantação das

instalações de transmissão planejadas, sobretudo em função do dinamismo existente na criação de áreas protegidas e de ocupação do solo, o qual pode alterar as condições de uma determinada região após a solução já ter sido definida.

Dessa forma, sob uma ótica mais estratégica, é fundamental que se avalie a oportunidade de criação de instrumentos legais que permitam instituir o direito de preferência de uso do solo para os projetos de transmissão recomendados.

#### 3.3. Priorizar a implantação de linhas de transmissão novas dentro de faixas de servidão de linhas existentes

Entende-se que, nas próximas décadas, o planejamento setorial deve considerar cada vez mais a expansão da rede elétrica a partir da utilização de faixas de servidão de circuitos existentes com o intuito de facilitar a viabilidade dos novos empreendimentos, dadas as complexidades socioambientais e fundiárias envolvidas no processo.

Não obstante, é importante que esse procedimento não seja tratado de forma generalizada. O eventual compartilhamento de faixas de servidão deve ser evitado sempre que a confiabilidade do sistema for comprometida com essa medida.

### **3.4. Aumentar a capacidade de transporte do sistema a partir de intervenções em linhas de transmissão existentes**

Ao mesmo tempo em que se faz mister vislumbrar ações para assegurar a viabilidade de expansão do sistema de transmissão, julga-se fundamental avaliar ações que promovam o aumento da capacidade de transmissão do sistema já estabelecido.

Uma ação que já vem sendo efetuada e deve ser intensificada no futuro é a substituição dos cabos condutores das linhas de transmissão por outros de maior capacidade, eventualmente

empregando-se materiais de condutividade mais elevada.

Outra possibilidade, ainda pouco discutida no Brasil, mas bastante estudada em países com maiores complexidades socioambientais e fundiárias, consiste na conversão de linhas de corrente alternada em linhas de corrente contínua que, normalmente, apresentam maior capacidade de transmissão por conseguirem operar em pontos mais próximos do limite térmico dos cabos condutores.

### **3.5. Promover ações para otimizar o aproveitamento do sistema de transmissão existente**

Não há dúvidas quanto à necessidade de se otimizar o aproveitamento do sistema de transmissão existente concomitantemente ao estabelecimento de ações que auxiliem o processo de expansão da rede, fortemente impactada pelas crescentes dificuldades socioambientais e fundiárias. Diversas medidas podem ser tomadas nesse sentido.

É fundamental, por exemplo, que se incentive a incorporação de recursos energéticos distribuídos na matriz de suprimento elétrico, mesmo as aplicações em pequena escala. Esses recursos

auxiliam a reduzir montante de energia que é exigido do sistema elétrico, podendo postergar a necessidade quanto à sua expansão.

Outras medidas importantes a serem incentivadas são o gerenciamento pelo lado da demanda, que inclui o remanejamento temporal da carga do sistema de maneira a reduzir a sua demanda máxima, e programas de ações de eficiência energética. Similarmente ao caso da geração distribuída, essas medidas objetivam reduzir o montante de energia que é exigido do sistema elétrico centralizado.

### **3.6. Avaliar a criação de fundos setoriais para auxiliar a substituição dos equipamentos com vida útil ultrapassada**

O processo de substituição das instalações de transmissão com vida útil ultrapassada é de particular importância para o país. Há que cuidar para que a malha de transmissão opere com os níveis de confiabilidade e qualidade exigidos pela sociedade.

Naturalmente, caberá ao planejador avaliar, caso a caso, a oportunidade de se implantar instalações completamente novas e mais modernas, a serem objeto de novas concessões, ao invés de simplesmente substituir os equipamentos existentes à medida que sua vida útil for sendo ultrapassada.

Independentemente dessa questão, entende-se ser importante avaliar a oportunidade de criação de fundos setoriais que venham a viabilizar a

substituição dos equipamentos ultrapassados pelas empresas, principalmente considerando-se o elevado volume de investimentos envolvido.

### 3.7. Avaliar modelos mais adequados ao planejamento da expansão do sistema elétrico

Entende-se que os modelos utilizados na expansão do sistema elétrico<sup>1</sup> precisam ser ajustados à nova realidade do setor.

Atualmente, os recursos energéticos do sistema são parametrizados em escala mensal, que é suficiente para explorar a disponibilidade sazonal das fontes de geração de energia. No entanto, essa escala não captura as características de determinadas fontes, como a intermitência sub-horária associada às fontes eólica e fotovoltaica.

Tendo em vista a tendência de crescente inserção dessas fontes na matriz energética brasileira, torna-se muito importante promover a atualização dos modelos utilizados no planejamento da geração, o que, em última instância, assegurará sinais mais adequados para a expansão do sistema de transmissão.

Dentro desse contexto, é fundamental que se viabilize a parametrização dos recursos energéticos em reduzida discretização temporal, sub-horária por exemplo. Essa medida, se faz necessária para representar e valorar as características de disponibilidade e de flexibilidade operativa do portfólio de geração, caracterizado pela participação crescente de fontes renováveis variáveis de geração de energia, que impacta os requisitos de atendimento da carga do sistema elétrico.

Ainda no tocante à modelagem do sistema, é importante que se busque uma representação mais

estratificada da rede elétrica, considerando-se não só as grandes interligações regionais, mas também os principais troncos de transmissão intrarregionais, cujas capacidades elétricas podem impactar o processo de otimização da operação eletroenergética dos sistemas de geração e transmissão em expansão.

Paralelamente a essas questões, entende-se ser imprescindível que os modelos sejam atualizados de modo a viabilizar a representação de incertezas de diversas ordens, desde a presença da REI e seus impactos sobre a demanda, até a possibilidade de integração energética entre os países da América Latina.

Com essas e outras medidas, espera-se antecipar o conhecimento sobre as potenciais necessidades do sistema, viabilizando a elaboração de estudos prospectivos da rede e, em última instância, minimizando os riscos de descompasso entre os empreendimentos de geração e transmissão.

---

<sup>11</sup> A metodologia empregada no processo busca minimizar o custo total de operação e investimento do parque gerador existente e em expansão, além de ampliar as interligações regionais, caso exista o benefício econômico associado a um reforço que auxilie a transferência eletro-energética entre regiões.

## 4. Referências

CGEE. **Prospecção Tecnológica no Setor Elétrico Brasileiro: Evolução Tecnológica Nacional no Segmento de Transmissão de Energia Elétrica**. Volume 4. Brasília, 2017

EPE. **Plano Decenal de Energia 2027**. Ministério de Minas e Energia/Empresa de Pesquisa Energética: MME/EPE, 2015. Rio de Janeiro. Disponível em < <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2027> >. Acesso em nov/2018.

U.S. Department of Energy. Energy Transmission, Storage, and Distribution Infrastructure – Modernizing the Electric Grid – chapter III. **QER Report**. April 2015. Disponível em < <https://www.energy.gov/policy/initiatives/quadrennial-energy-review-qer> >. Acesso em jul/2018.