



Fundação de Apoio à
Universidade de São Paulo



Secretaria de  **SÃO PAULO**
Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística GOVERNO DO ESTADO

WORKSHOP 2 PLANO ESTADUAL DE ENERGIA 2050

Race to Zero | Race to Resilience

OFERTA I – Geração de
Energia Elétrica, Geração
Distribuída e Redes
Inteligentes, Hidrogênio



13 de Julho de 2023



Fundação de Apoio à
Universidade de São Paulo



Secretaria de  **SÃO PAULO**
Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística GOVERNO DO ESTADO

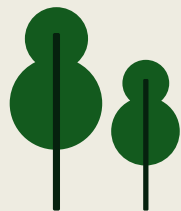
WORKSHOP 2 PLANO ESTADUAL DE ENERGIA 2050

Race to Zero | Race to Resilience

Oferta – Solar & Usinas Híbridas

Dr. Luiz Armando Steinle Camargo

Eng^a. MSc. Laís Domingues Leonel



13 de Julho de 2023

AGENDA

1. Visão Internacional

2. Visão Nacional

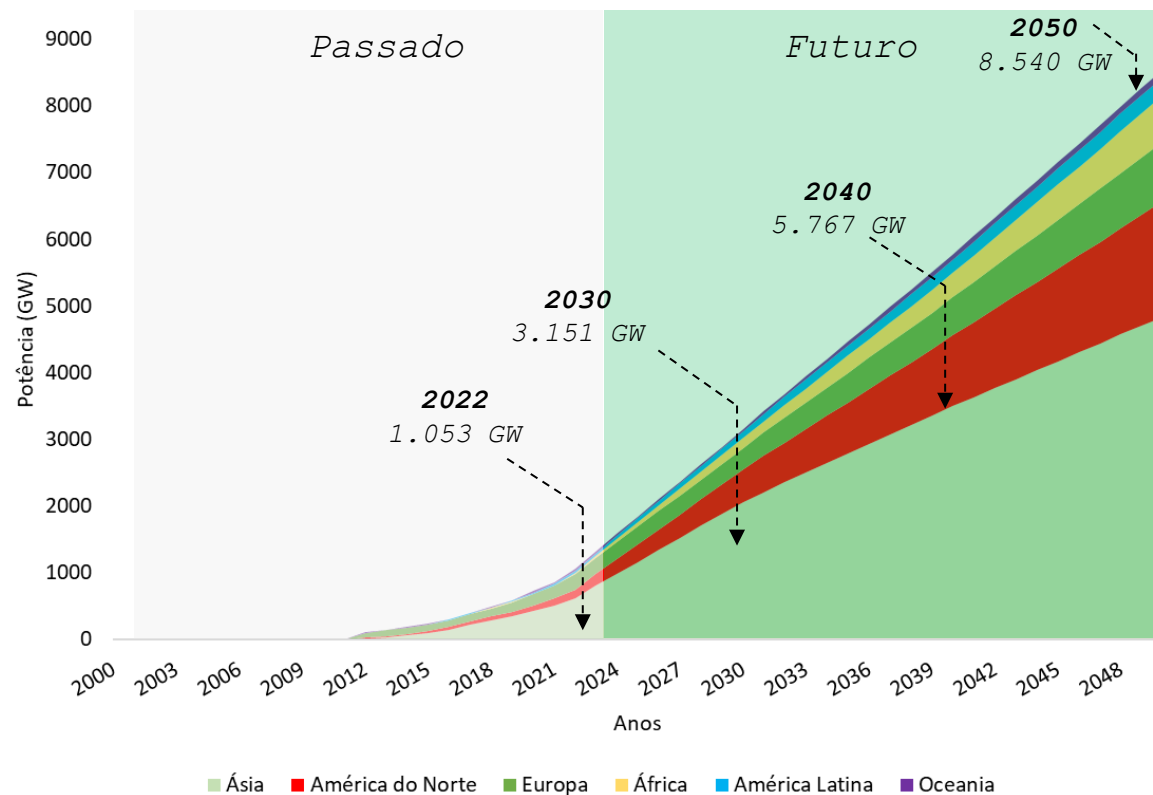
3. Visão Estadual

4. Conclusões

VISÃO INTERNACIONAL

SOLAR FOTOVOLTAICA - POTÊNCIA INSTALADA GLOBAL

Potência Solar FV | Passado e Futuro



Previsão de 8.500 GW em Capacidade Instalada em 2050.

Destaques: Ásia, América do Norte & Europa.

Forte expansão impulsionada pelas metas de descarbonização e objetivos da transição energética.

Políticas Públicas e Mecanismos de Incentivos, associados Evoluções Tecnológicas e Reduções de Custos, contribuíram para a expansão da fonte.

A **América Latina** possui, atualmente, **46 GW** de potência instalada, com previsão de atingir a marca de **281 GW** até 2050.

VISÃO INTERNACIONAL

PROJETOS HÍBRIDOS

Crescente interesse em projetos híbridos nos mercados internacionais.



EUA - 13,4 GW

Arranjo predominante: Solar ou Eólica com baterias.



AUSTRÁLIA - 3,4 GW

Arranjo predominante: Solar ou Eólica com baterias.



ÍNDIA - 5 GW

Arranjo predominante: Solar e Eólica (+baterias).



CHINA - 9,5 GW

Arranjos predominantes: Solar FV, Eólica e Hidrelétrica (+ bateria).

Destaques:

Usina Híbrida composta por **Solar Fotovoltaica Flutuante** (320 MW) + **Eólica** (100 MW) + **Baterias** (8 MWh).

Usina Híbrida composta por **UHE** (3 GW) existente + **Solar** (1 GW) em construção.

Vetores da Expansão de Usinas Híbridas:

- Adequações regulatórias com ênfase na valoração dos atributos das usinas híbridas
- Participação em Mercados de Energia e de Serviços Ancilares
- Expansão via promoção de Leilões, contratos customizados (round-the-clock) e participação mínima de uma das fontes
- Utilização de Sistemas de Armazenamento de Energia para maior flexibilidade operativa das Usinas (híbridas).

VISÃO INTERNACIONAL

Considerações

EXPANSÃO



Alternativa de destaque no cenário internacional para o atingimento das metas globais de neutralização das emissões de carbono em diversas matrizes energéticas.

Expectativa de 8,5 TW de capacidade instalada em 2050. Destaque para Ásia e América do Norte e Europa.



ESTRATÉGIAS DE DESENVOLVIMENTO DE MERCADO

Incentivos de governo, mecanismos de contratação, redução de custos, desenvolvimento da cadeia de suprimentos e aprimoramentos regulatórios.

TECNOLOGIA



Avanços tecnológicos possibilitaram implantação de projetos mais eficientes e com maior potência instalada por área construída.

Tendencia de redução de CAPEX e aumento de potência nominal dos painéis.

Perspectivas de composição em novos arranjos (associação com armazenamento e usinas híbridas).

HÍBRIDOS



Tendencia de aumento da participação em diferentes mercados (associação entre fontes de geração complementares e com Sistemas de Armazenamento de Energia).

China, EUA, Austrália e Índia são exemplos de destaque. (ex. EUA possui capacidade instalada de híbridos > 13 GW).

AGENDA

1. Visão Internacional

2. Visão Nacional

3. Visão Estadual

4. Conclusões

VISÃO NACIONAL

UFV – ALTERNATIVAS DE PARTICIPAÇÃO NA MATRIZ NACIONAL

UFV Centralizadas

Configuração tradicional da Fotovoltaica de grande porte, instalada no solo.

Características:

Adaptável em diferentes regiões e arranjos.

Tecnologia Madura e Mercado Estabelecido.

UFV Híbrido (em solo)

Associação de FV em solo + Fontes complementares (ex. UHE e Eólica).

Características:

Compartilhamento de rede e infraestruturas físicas (Redução CAPEX/OPEX).

Benefícios operativos; disponibilidade hídrica; navegabilidade de hidrovias

UFVF Híbrido (Flutuante)

Associação de FV Flutuante e UHEs.

Características:

Reduz CAPEX/OPEX pelo compartilhamento de infraestrutura e conexão;

Aumento de CAPEX (relação FV em solo) devido estruturas de suporte, flutuação e ancoragem;

Menor eficiência (não utiliza tracker);

Aproveitamento de superfície do reservatório.

UFV Flutuantes

FV Flutuantes operando independente.

Características:

Aumento do CAPEX devido estruturas de suporte, flutuação e ancoragem;

Menor eficiência (não utiliza tracker);

Aproveitamento de superfícies de corpos d'água (lagos, açudes, reservatórios etc).

Geração Distribuída

Sistemas de Microgeração e Minigeração Distribuída.

Características:

FV de pequeno porte implantada em residências, comércios, indústrias, propriedades rurais e prédios públicos.

Sistema de autoconsumo local ou remoto.

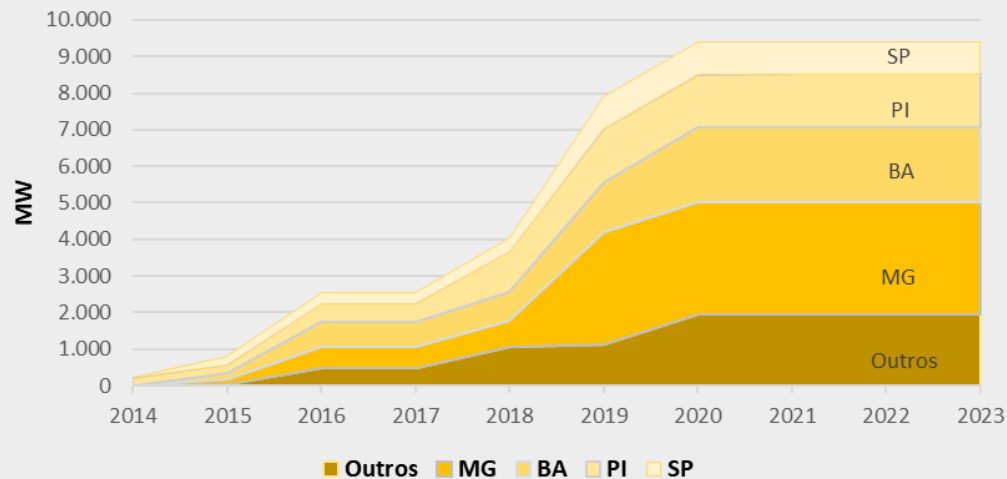
Adaptável em diferentes arranjos e locais.

Usinas Híbridas com crescente interesse do mercado. Usinas FV Flutuantes em estágio ainda embrionário.

VISÃO NACIONAL

Panorama Atual

Capacidade Instalada - Solar Fotovoltaica (Centralizada)



Solar Centralizada: 9,4 GW de capacidade instalada no Brasil em 2023.

Minas Gerais, Bahia, Piauí são os principais estados em termos de potência instalada para geração centralizada.

UFV em operação: **MG (3 GW); BA (2 GW); PI (1,5 GW); SP (1 MW); Outros (2 GW).**

Solar Distribuída: 21,8 GW de capacidade instalada no Brasil em 2023.

São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Paraná são os principais estados em termos de potência instalada para geração distribuída.

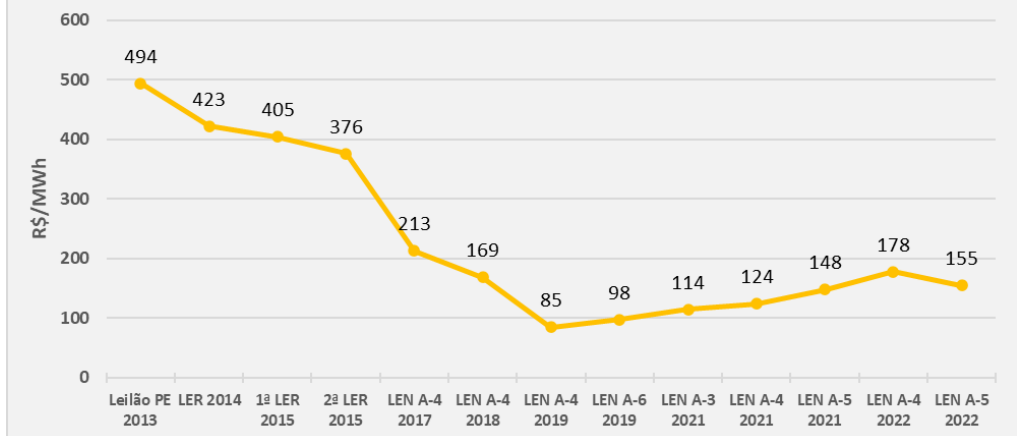
Principais Drives da Expansão da Solar FV Centralizada no Brasil:

Alto potencial energético, promoção de Leilões de Energia, desenvolvimentos tecnológicos e desenvolvimento da cadeia produtiva.



Leilões de Energia: redução de preços e consolidação da UFG no cenário nacional...

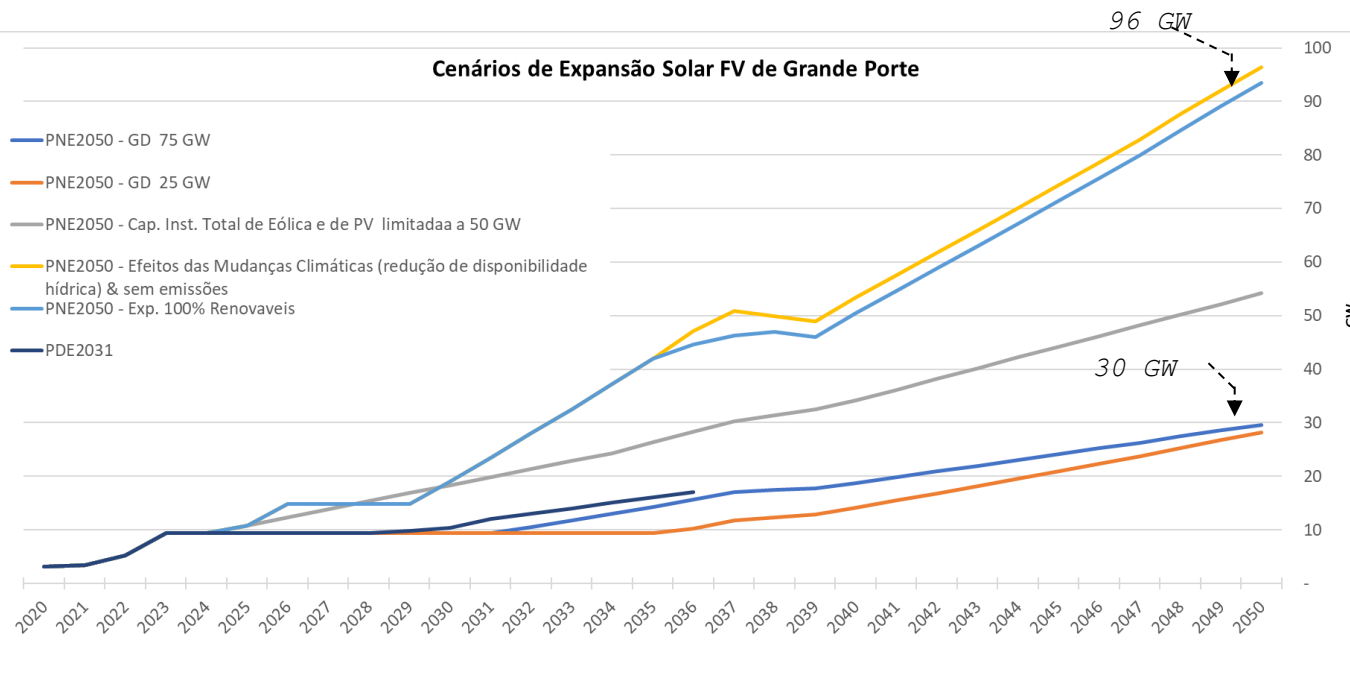
Evolução do Preço em Leilões no ACR



VISÃO NACIONAL

PROJEÇÃO NACIONAL – Visão EPE

Cenários de Expansão Solar FV de Grande Porte



Fonte: [PNE 2050](#); [PDE 2031](#)

Cenários do PNE 2050 – diferentes projeções para a Expansão da Solar Fotovoltaica Centralizada;

Sinalização condicionada a expansão das fontes de baixa emissão e dos impactos negativos na geração hidráulica pelas mudanças climáticas;

Cenário – Mudanças Climáticas e sem emissão: **96 GW em 2050.**

Cenário – Expansão acelerada da GD, (sem efeitos das mudanças climáticas): **30 GW em 2050.**

Projeção de Solar FV no **PDE 2031: 12 GW em 2031.**

Expectativa de relevante expansão da Solar FV Centralizada no Brasil, com destaque para regiões Nordeste e Sudeste!

VISÃO NACIONAL

CONCLUSÃO



ENERGIA LIMPA

Geração de energia elétrica limpa.

FV representa uma das principais fontes do processo de expansão da Matriz Elétrica Nacional

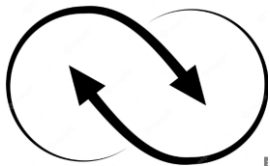


MERCADO MADURO E EM FORTE EXPANSÃO

Solar fotovoltaica representa uma tecnologia consolidada no país.

Expectativa de forte expansão, alavancado pelas premissas do RtZ-2050.

Versatilidade e Adaptabilidade para implantação em diferentes regiões e sob diferentes arranjos (híbrido; SAE).



NOVOS ARRANJOS E APROVEITAMENTO DE SINERGIAS

O potencial de hibridização de usinas fotovoltaicas com outras fontes (como usinas hidrelétricas e eólicas) permite explorar sinergias, infraestruturas e uso de terra, resultando em reduções de CAPEX / OPEX e postergação de investimentos em conexão/transmissão.

Associação com sistemas de armazenamento permite aumento de flexibilidade e gerenciamento da geração.



REGULAÇÃO

Marco regulatório das Usinas Híbridas (REN nº 954 /2021) pavimentou a expansão destes arranjos no Brasil.

Fim dos descontos na TUSD/TUST (Lei n. 14.120/2021) levou a uma corrida por outorgas, com elevadíssimo número de solicitações, trazendo complexidade e incertezas ao planejamento da expansão e necessidade de solução para a contratação de margem de escoamento.

AGENDA

1. Visão Internacional

2. Visão Nacional

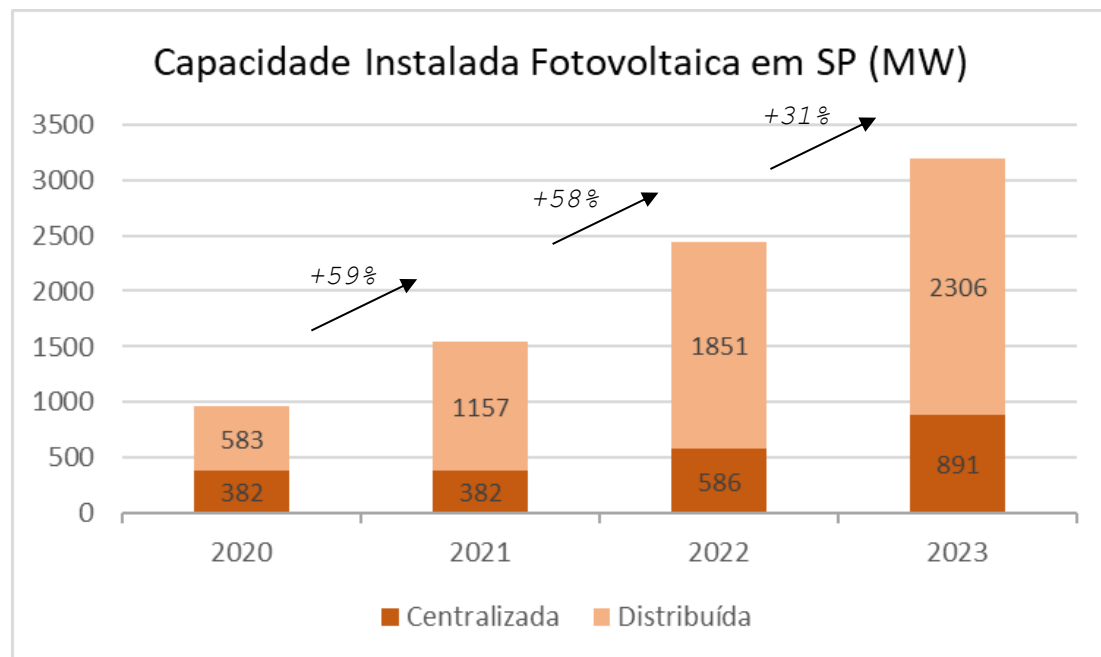
3. Visão Estadual

4. Conclusões

VISÃO ESTADUAL

VISÃO GERAL

O Estado de São Paulo apresenta importante capacidade instalada da Fotovoltaica (GC + GD), com perspectiva de expansão das duas modalidades.



Usinas em operação:

891 MW de Geração Centralizada e **2.305 MW** de Geração Distribuída (GD aprox. 2,5x Geração Centralizada).



Níveis de irradiação em patamares de viabilização de Usinas nas modalidades de GC e GD.



Geração Centralizada apresenta capacidade instalada menor que a GD no Estado.



Geração ocorre próximo ao centro de carga, diminuindo perdas de transmissão.



Existência de malha ramificada de transmissão e distribuição em todo estado.



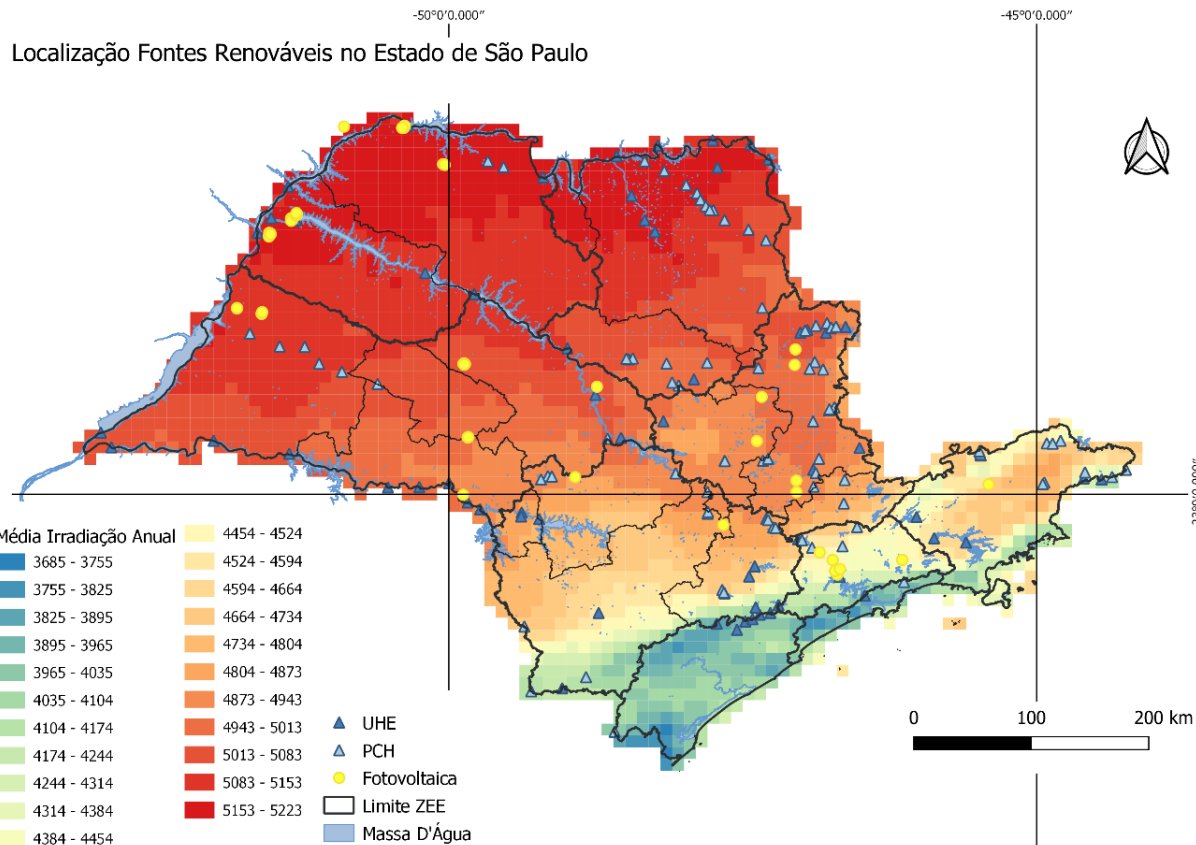
SP é o estado com maior número de empresas do setor produtivo fotovoltaico.



Concentração de Universidade e Centros de Pesquisa: mão de obra qualificada

VISÃO ESTADUAL

POTENCIAL



Elevada irradiação nas regiões centrais e interioranas no estado (região norte/oeste) → locais de maior concentração de UFV de maior porte em operação;

Regiões com elevada irradiação coincidem com UHEs e PCHs existentes → **potencial para hibridização Hidro + Solar.**

Potência FV no Estado: > 1.000 GWp (EPE).

Estimativas investigativas (cenário conservador), realizadas pelo GT, indicam possibilidade de exploração de:

- 1 GW** de solar flutuante
- 2 GW** de hibridização UHE + UFVF (flutuante)
- 4 GW** de hibridização UHE + UFV (em solo)

Metodologia aplicada com auxílio de GIS para delimitação de áreas..

VISÃO ESTADUAL

PARTICULARIDADES DA HIBRIDIZAÇÃO UHE + Solar FV em São Paulo



Empreendimentos Hidrelétricos no Estado somam aprox. 15 GW → Há importante espaço para composição de Usinas Híbridas via associação com Solar FV (no entorno dos reservatórios ou flutuantes)



A associação de Solar FV (em solo) com UHE/PCH apresenta baixa necessidade de aprimoramentos tecnológicos e inovativos. Alta possibilidade de aproveitamento de Recursos Físicos e Sistema de Transmissão / Conexão existentes.



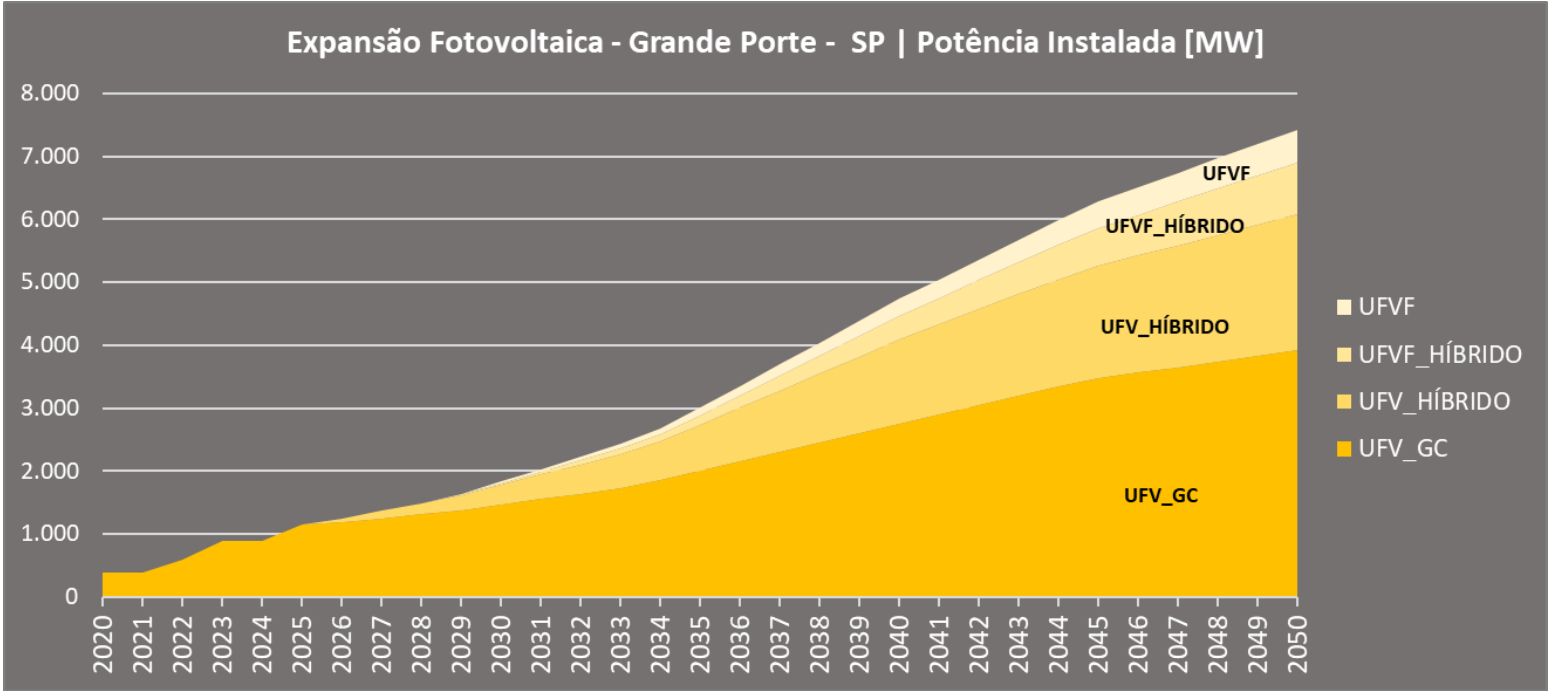
A associação da Solar Fotovoltaica com Sistemas de Armazenamento de Energia permite o aumento da flexibilidade operativa e capacidade de gerenciamento da geração → tendência de médio/longo-prazo.



Expansão de Usinas Híbridas Solar + UHE podem representar importantes aspectos operativos para o sistema, como os relativos à disponibilidade hídrica e navegabilidade da hidrovia Tietê-Paraná.

CONCLUSÕES

PROJEÇÃO PARA SÃO PAULO



No âmbito do Plano de Energia Estadual, estima-se para 2050 o atingimento de uma capacidade instalada de

6 GW para a Solar Fotovoltaica de grande porte;

- Centralizada (2,9 GW)**
- Híbridas (2,6 GW)**
- Flutuante (0,5 GW)**

Expansão condicionada, dentre outros aspectos, pela atratividade da FV em outros Estados do SIN e aumento da GD em SP em velocidade superior ao da GC.

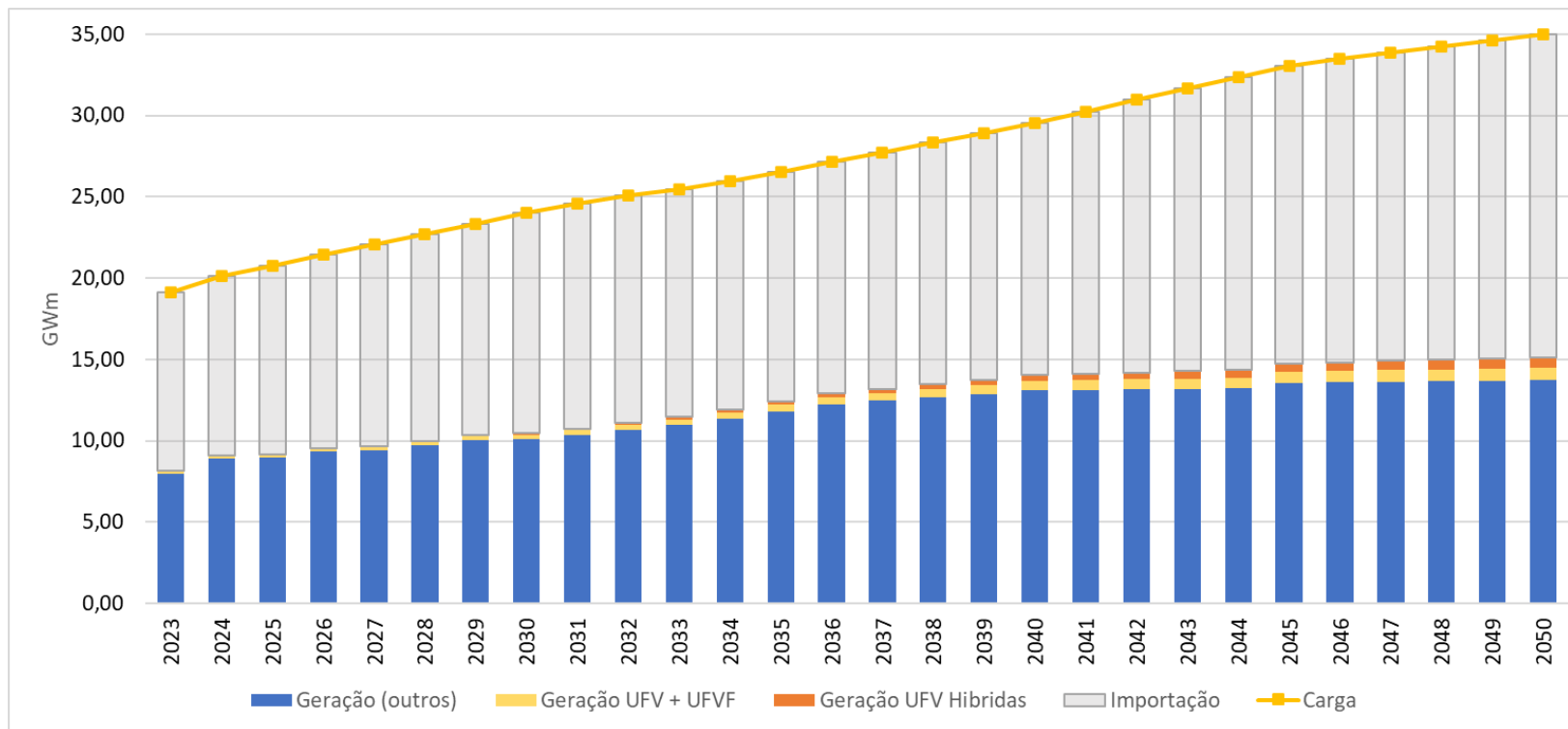
Arranjo	2030	2040	2050	% (2050)
UFV Centralizada	1.430 MW	2.330 MW	2.930 MW	49%
UFV Híbrida (UHE)	315 MW	1.155 MW	1.860 MW	31%
UFVF Híbrida (UHE)	30 MW	375 MW	750 MW	12%
UFVF	30 MW	260 MW	460 MW	8%
Total	1.800 MW	4.120 MW	6.000 MW	100%

Obs: Configurações possuem diferentes CAPEX e FC, que alteram a projeção das fontes.

CONCLUSÕES

PROJEÇÃO PARA SÃO PAULO

Participação da Geração Fotovoltaica de Grande Porte (Centralizada, Híbrida e Flutuante) no **Balanco de Energia: Atendimento de 4% da Carga em 2050.**



AGENDA

1. Visão Internacional

2. Visão Nacional

3. Visão Estadual

4. Conclusões

CONCLUSÕES

PROJEÇÃO PARA SP



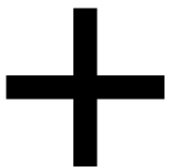
POTENCIAL

Potencial energético relevante para expansão da GC e demais alternativas de hibridização.
Projeção de expansão de Usinas Híbridas via associação de FV em UHE existentes.
Expansão da Matriz Paulista com fontes de baixa emissão de carbono.



PROJEÇÃO

Estima-se possibilidade de expansão de **6 GW de solar fotovoltaica nas modalidades centralizada, híbrida e flutuante.**
Característica do SIN implica em concorrência com a atratividade da Solar FV Centralizada em outros Estados e de outras fontes de geração (ex. Eólica Onshore)



HÍBRIDOS

Expansão permitirá melhor aproveitamento de infraestruturas físicas existentes das hidrelétricas e sistemas de escoamento → redução de perdas e postergação de investimentos em transmissão e distribuição.
Acoplamento de Sistemas de Armazenamento de Energia, médio-prazo, representam possibilidades para aumento da flexibilidade operativa.



ASPECTOS ECONÔMICOS

Expansão da Solar Centralizada e Híbridas representa possibilidade de fortalecimento da cadeia de suprimentos e desenvolvimento regional; atração de investimentos; benefícios de atendimento a carga local e alívio da demanda elétrica em horário diurno.

Secretaria de
Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística



SÃO PAULO
GOVERNO DO ESTADO



Fundação de Apoio à
Universidade de São Paulo



Fundação de Apoio à
Universidade de São Paulo



Secretaria de  **SÃO PAULO**
Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística GOVERNO DO ESTADO

WORKSHOP 2

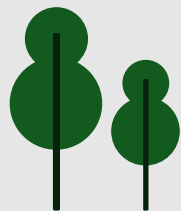
PLANO ESTADUAL DE ENERGIA 2050

Race to Zero | Race to Resilience

Oferta - Eólica Offshore

Dr. Luiz Armando Steinle Camargo

Eng. Martin Melo Dias



AGENDA

1. Visão Internacional

2. Visão Nacional

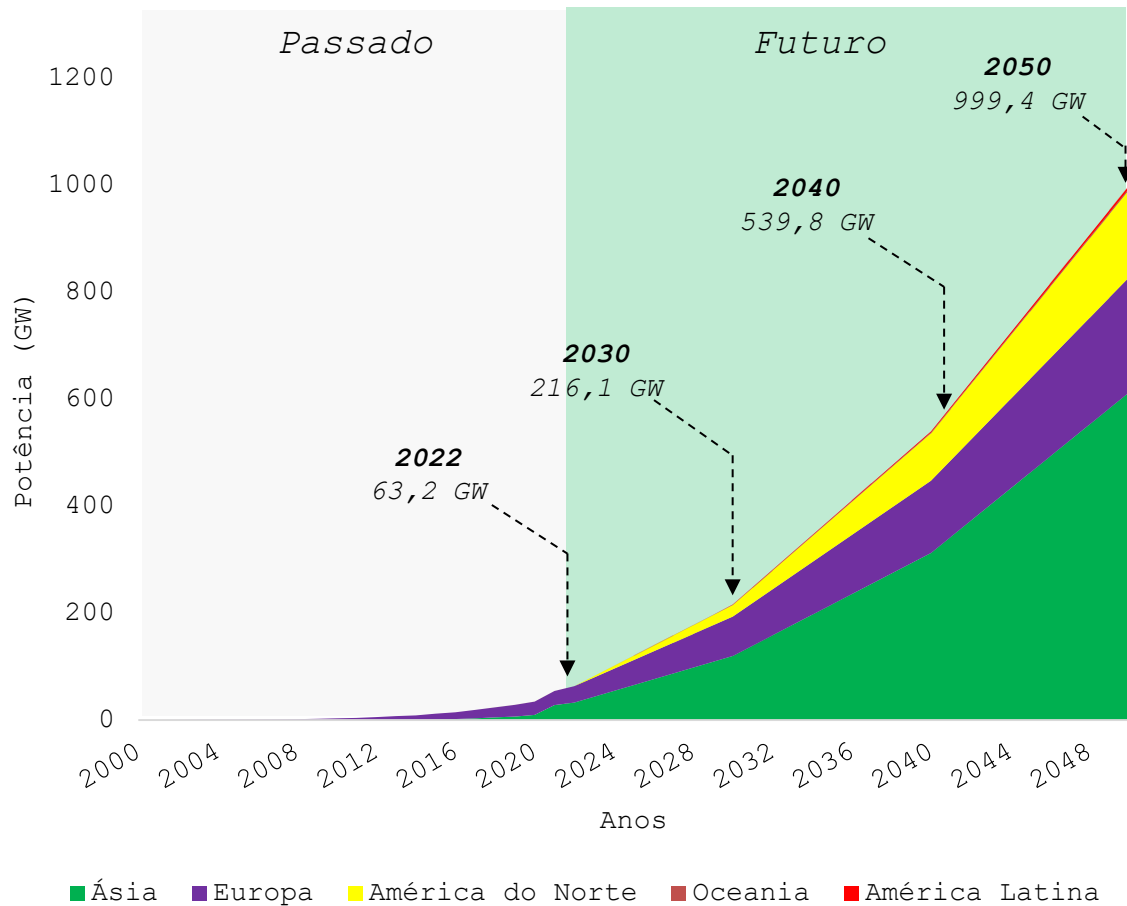
3. Visão Estadual

4. Conclusão

VISÃO INTERNACIONAL

POTÊNCIA INSTALADA NO MUNDO

Potência Eólica Offshore | Passado e Futuro



Eólica Offshore: geração limpa, com perspectiva de relevante contribuição com a descarbonização da eletricidade e produção de combustíveis de baixo carbono (hidrogênio).

Previsão de 999 GW em Potência Instalada em 2050.

Tendência de forte expansão na **Ásia, Europa e América do Norte...**

Drivers da Expansão: Políticas Públicas, Regulação, Mecanismos de Incentivo e Investimentos no Desenvolvimento da Cadeia Produtiva.

Projeções da IRENA 'tímidas' para a América Latina. Primeiras turbinas eólicas offshore em **2030** e ao final de **2050** espera-se uma capacidade instalada de **5 GW**.

VISÃO INTERNACIONAL

CONSIDERAÇÕES GERAIS

EXPANSÃO



Alternativa de destaque no cenário internacional para o atingimento das metas globais de neutralização das emissões em diversas matrizes energéticas.

Capacidade existente concentrada na Europa (Reino Unido, Alemanha e Holanda) e Ásia (China) -> ~63 GW (global).

Expectativa atingir a marca global, de 1.000 GW de capacidade instalada em 2050 (Ásia, Europa, EUA).



ESTRATÉGIAS DE DESENVOLVIMENTO DE MERCADO

Incentivos de governo, planejamento integrado do grid, redução de custos, investimento (longo-prazo) no desenvolvimento da cadeia de suprimentos e tecnologias e aprimoramentos regulatórios.



TECNOLOGIA

Avanços tecnológicos relevantes nos últimos anos possibilitaram a implantação de projetos mais eficientes (aumento do porte dos Aerogeradores) e em áreas mais distantes do continente (fundações).

Expectativa de redução de CAPEX e aumento de Capacidade dos Aerogeradores.



AMÉRICA LATINA

Ainda não apresenta Usinas em construção/ em operação.

Alguns fatores de entrave: Valores elevados de CAPEX, atratividade financeira de outras fontes renováveis (ex. solar e eólica onshore); ausência de marcos regulatórios e infraestrutura de logística adequada.

AGENDA

1. Visão Internacional

2. Visão Nacional

3. Visão Estadual

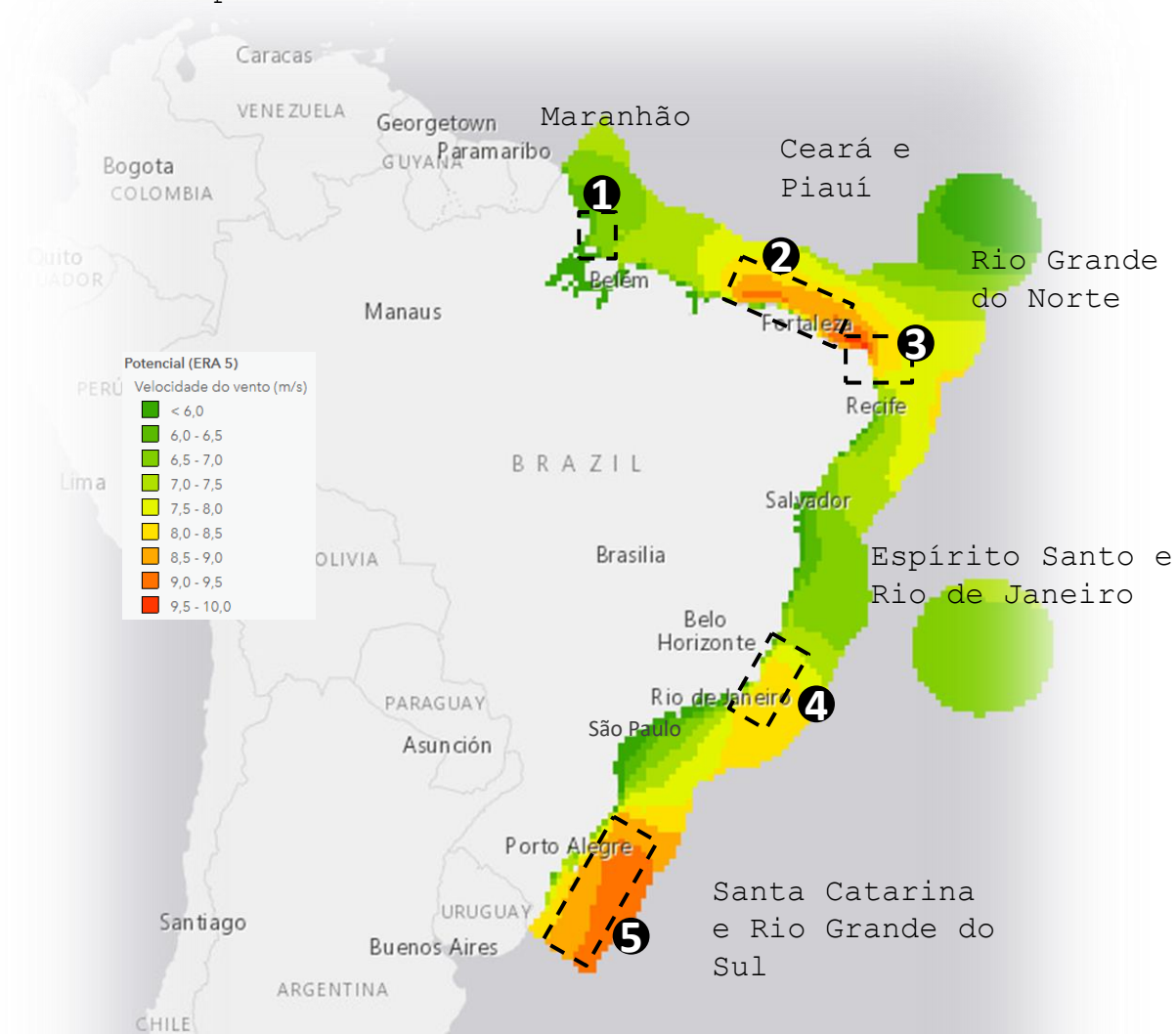
4. Conclusão

VISÃO NACIONAL

POTENCIAL

POTENCIAL EÓLICO OFFSHORE NO BRASIL

Mapa de Velocidade do Vento a 100 m de Altura



700 GW é o **potencial da Eólica Offshore** em locais com profundidade de até 50 metros e ventos superiores a 7 m/s.

183 GW é a **potência total dos 74 projetos no IBAMA** com pedidos de licenciamento ambiental.

- Concentração em 5 grandes polos de desenvolvimento.
- Predomínio de players Internacionais e com atividades originas na indústria de Óleo e Gás.

Interesse do mercado na possibilidade de **geração de energia elétrica** e na **produção de hidrogênio** (exportação para Europa).

Região Sudeste: projetos se concentram nos **Estados do Rio de Janeiro (27 GW)** e **Espírito Santo (6 GW)**.

Fonte: [Roadmap Eólica Offshore \(EPE, 2020\)](#) e [IBAMA](#)

VISÃO NACIONAL

PROJEÇÃO NACIONAL – VISÃO EPE

Potência Eólica Offshore | PNE 2050



Fonte: [PNE 2050](#)

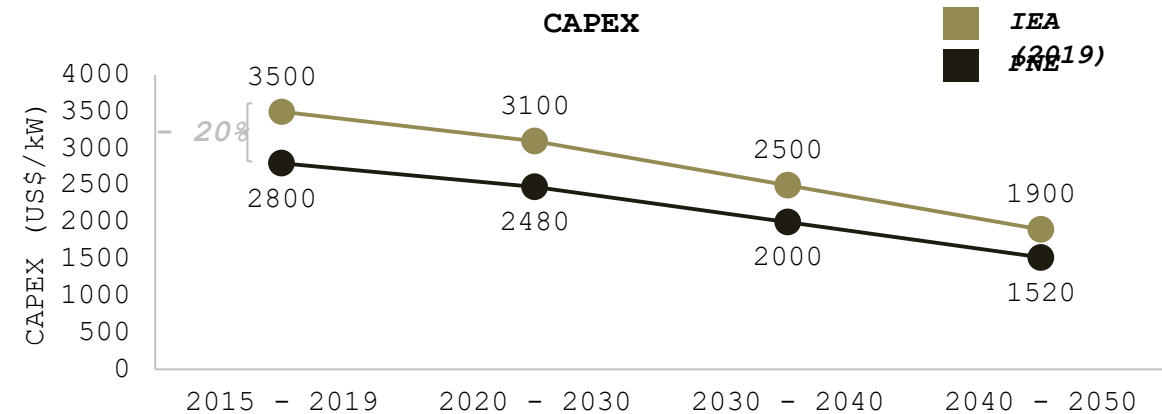
PNE 2050

Previsão de **5,5 GW em 2040** e de **16 GW em 2050**.

Projeção condicionada ao cenário de redução de **20% no CAPEX** estimado pela IEA.

Ex. de 2.500 para 2.000 US\$/kW até 2040.

Obs: Previsão do PNE considera, dentre outros, a atratividade das demais fontes conectadas no SIN.



VISÃO NACIONAL

INFRAESTRUTURA e REGULAÇÃO



INFRAESTRUTURA PORTUÁRIA

A infraestrutura portuária pode ser suprida, em partes, pelos portos existentes, aproveitando instalações da indústria de óleo e gás, ou por instalações desenvolvidas/adaptadas para atender indústria da eólica offshore.



CADEIA DE SUPRIMENTO

Necessidade de estabelecimento da cadeia de suprimentos. O nível de maturidade e os preços competitivos observados no mercado offshore europeu são resultados da presença de uma forte cadeia de fornecimento, desenvolvida por anos de maciços investimentos.



INFRAESTRUTURA DE TRANSMISSÃO

O sistema de transmissão e a sua interligação com a rede de distribuição é essencial para o escoamento da energia gerada dos parques eólicos offshore - requer planejamento da integração com o grid.



INDÚSTRIA DE PETRÓLEO E GÁS

A sinergia com a indústria de Petróleo e Gás: aspecto diferencial para a expansão da offshore em alguns locais do Brasil.

Os dois setores compartilham de tecnologias e elementos de suas respectivas cadeias de suprimentos.

Regulação



Marco Regulatório ainda não estabelecido.

Projeto de Lei 576/2021 regulamenta a autorização para o aproveitamento do potencial energético offshore.

Decreto N° 10.946/2022 defini diretrizes sobre o uso e aproveitamento de área marítimas para a

AGENDA

1. Visão Internacional

2. Visão Nacional

3. Visão Estadual

4. Conclusão

VISÃO ESTADUAL

VISÃO GERAL



Atualmente não há projetos em SP com solicitação de Licenças Ambientais no IBAMA.

Aspectos Motivadores para a implantação da Eólica Offshore no Estado:



Atender a carga na região litorânea (**Baixada Santista, São Paulo e região metropolitana**)



Explorar a sinergia com a Indústria de Óleo & Gás presente no Estado.



Produzir **Hidrogênio de Baixo Carbono**, sobretudo para consumo dos polos industriais paulista.



Desenvolver Mercado e Tecnologia no Estado



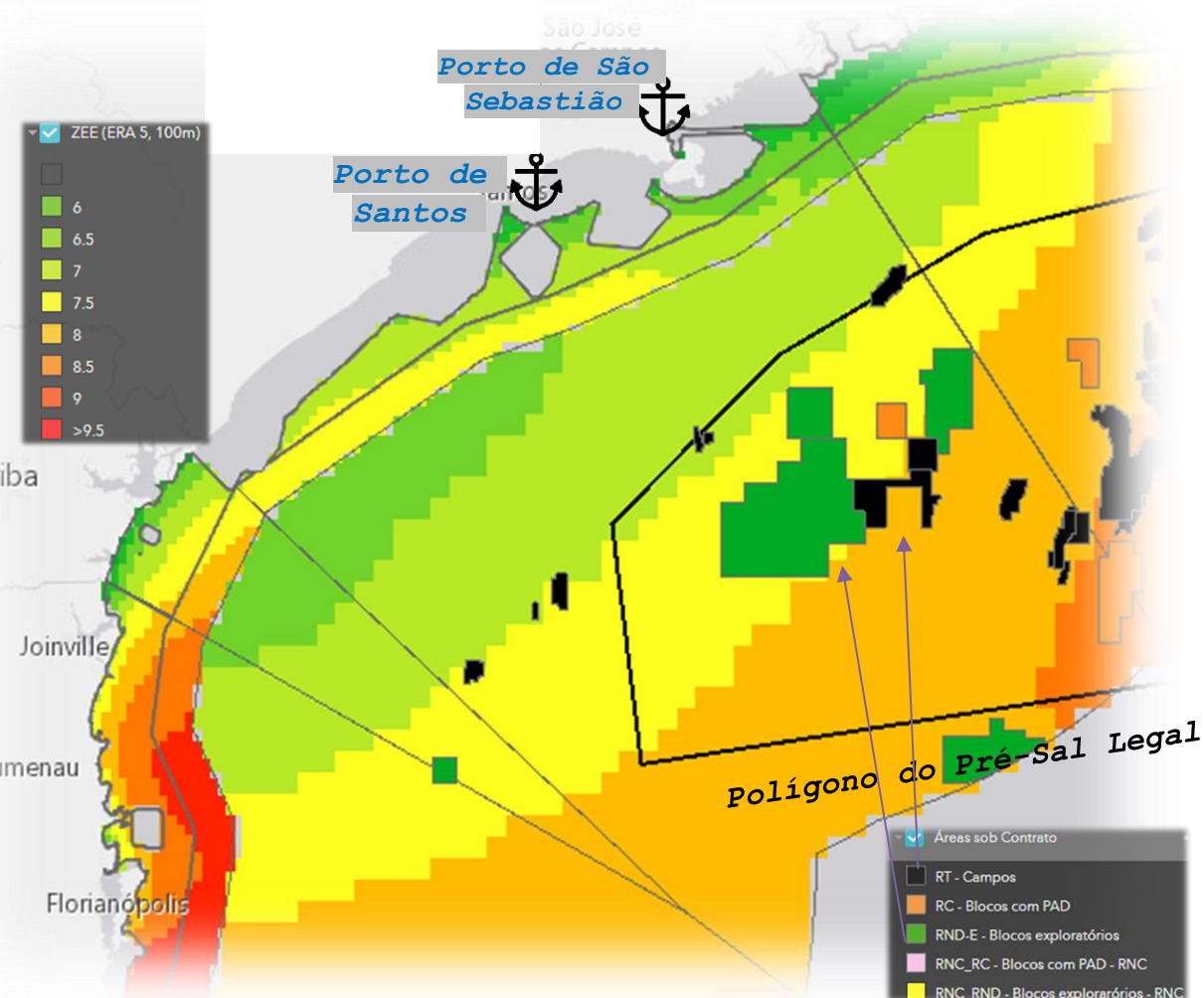
Desenvolver mão de obra qualificada e promover pesquisas aplicadas & inovações tecnológicas

VISÃO ESTADUAL

POTENCIAL

POTENCIAL EÓLICO OFFSHORE EM SÃO PAULO

Mapa de Velocidade do vento a 100 m de Altura



Estima-se que São Paulo tenha **20 GW de potencial (EPE)**.

FC estimado na ordem de 38%*

Existe possibilidade de exploração da sinergia com as atividades de Óleo & Gás no Pré-Sal.

Portos de Santos e São Sebastião para apoio logístico

Unidades de Conservação e faixa com ventos relativamente moderados/fracos (vs. Brasil) em áreas 'rasas' são limitantes da expansão da fonte no Estado (além de questões financeiras).

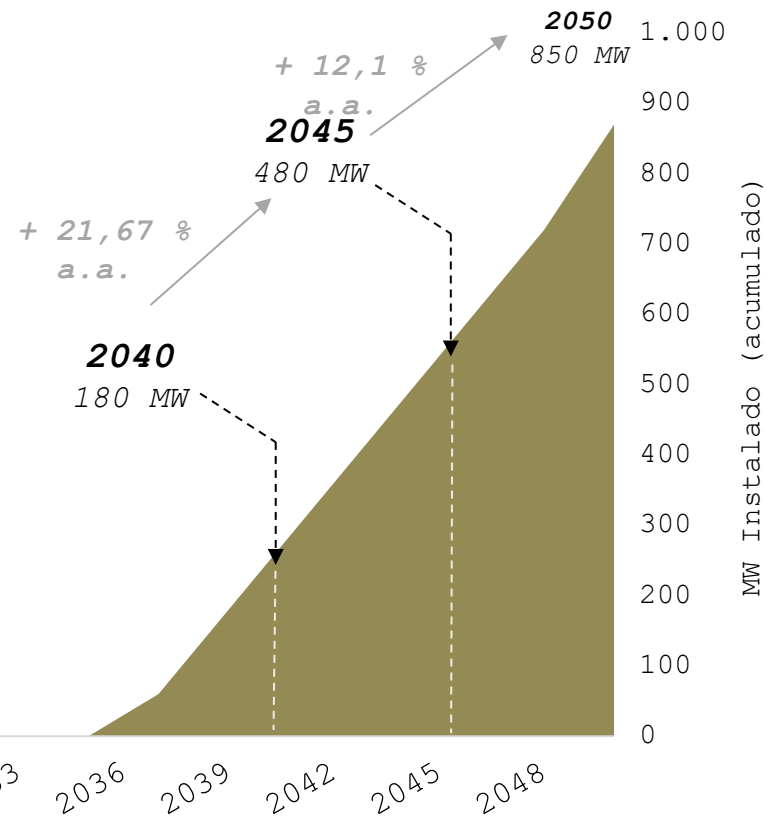
Fonte: [Roadmap Eólica Offshore \(EPE, 2020\)](#)

*: O FC de 38% na região Sudeste, para uma turbina de 10 MW.

VISÃO ESTADUAL

PROJEÇÃO

Eólica Offshore SP | 2050



No âmbito do Plano de Energia Estadual, a projeção estimada para 2050 é de **850 MW** de capacidade instalada da Eólica Offshore.

Prós

- Possibilidade de exploração de **sinergismos** com atividades de **Óleo e Gás**;
- Atendimento da demanda local: **Baixada Santista** e **Grande São Paulo**
- Geração de Hidrogênio de Baixo Carbono para Demanda Interna
- Fator de Capacidade similar ao da Europa
- Indução do Desenvolvimento da Indústria Offshore

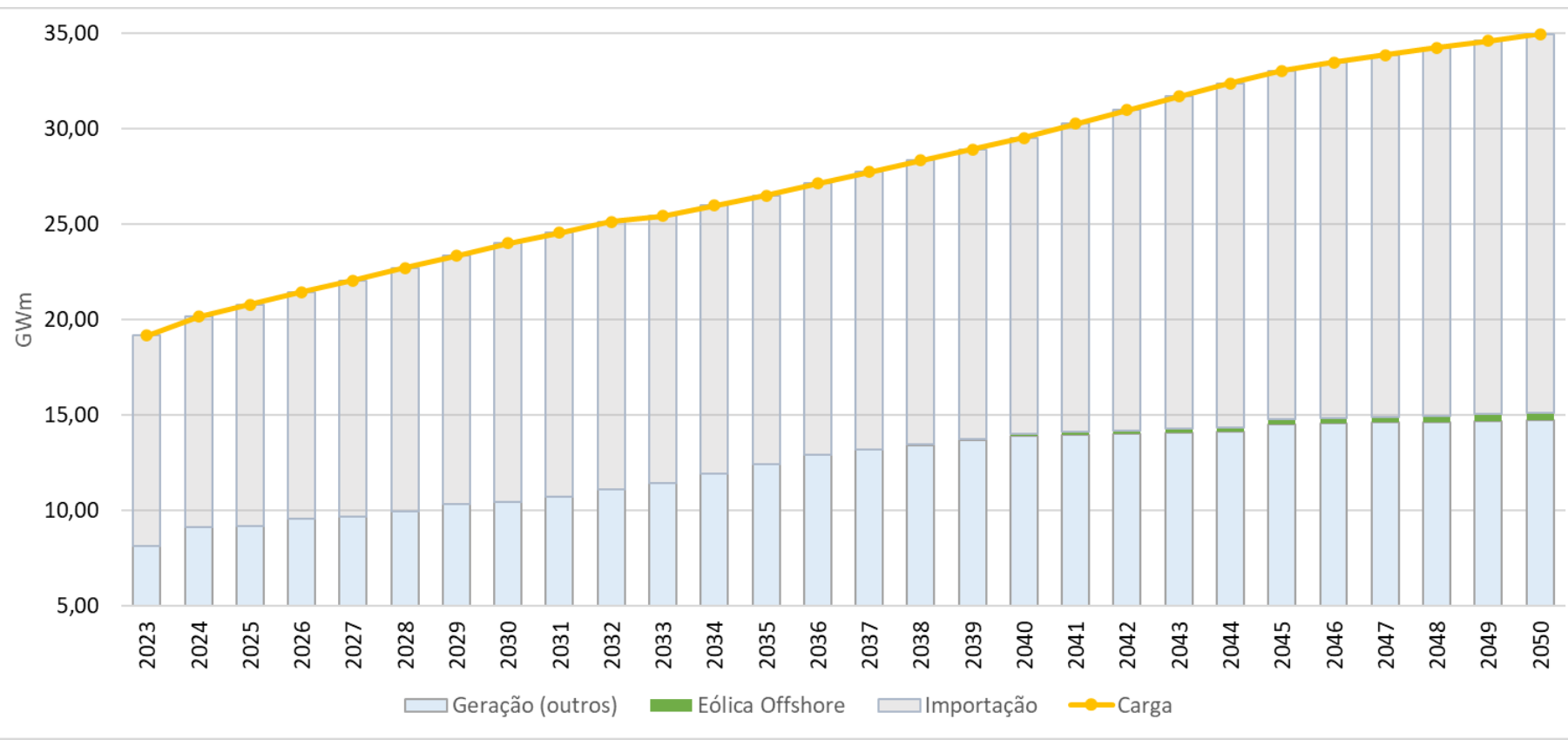
Contras

- Estados do Nordeste e Sul com maior potencial que São Paulo
- Estados com maior potencial estão em fases mais avançadas para o recebimento/desenvol. da indústria (adequação de portos, cadeia de suprimentos, e

VISÃO ESTADUAL

PROJEÇÃO

Geração | Eólica Offshore SP



Participação marginal da Geração Eólica Offshore no Balanço de Energia.

Atendimento de 1% Carga em 2050.

Maior parcela Importação...

AGENDA

1. Visão Internacional

2. Visão Nacional

3. Visão Estadual

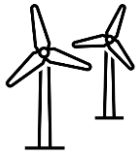
4. Conclusão

VISÃO ESTADUAL

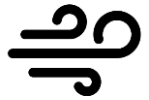
CONSIDERAÇÕES



Projeção de **850 MW** estimado em função de aspectos energéticos e financeiros.



Necessidade de estabelecimento de Políticas Públicas Estadual visando fomentar o Desenvolvimento da Indústria Offshore, Incentivos e Atração de Investimentos para implementação de Projeto Pilo de Médio Porte para aplicações de inovações tecnológicas e desenvolvimentos



Concorrência com a maior atratividade da eólica offshore em outras regiões e mesmo outras fontes renováveis (ex. eólica onshore, fotovoltaica) conectadas no SIN.



Infraestrutura de **distribuição e transmissão ramificada na região da Baixada Santista e Cubatão.**

Possibilidade de atendimento da carga da **Baixa Santista e Grande São Paulo** e de produção de hidrogênio de baixo carbono para demanda interna (região industrial de Cubatão).



Exploração da sinergia com a Indústria de Óleo & Gás;
Capacidade industrial de diversos setores no ESP; Desenvolvimento Tecnológicos e Economia Forte e Diversificada.



Portos de **Santos e São Sebastião.** Pontos para apoio logístico. Necessidade de planos de desenvolvimento e expansão contemplando o atendimento da indústria da eólica offshore no caso de opção por essa modalidade.

**Secretaria de
Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística**



SÃO PAULO
GOVERNO DO ESTADO



Fundação de Apoio à
Universidade de São Paulo