



# Usinas Híbridas Eólico-Fotovoltaicas: Estudos de Caso com Foco na Complementariedade Entre Fontes

## Grupo 7 – GPL 2

Aline Couto de Amorim

Cristiano Saboia Ruschel

Flávio Alberto Figueiredo Rosa

Gustavo Brandão Haydt de Souza

Gustavo Pires da Ponte

João Henrique Magalhães Almeida

Josina Saraiva Ximenes

Michele Almeida de Souza

Diversas notícias e estudos em eventos do setor, apontando complementariedade entre as fontes eólica e fotovoltaica.

Propostas por parte de alguns agentes de criação de produtos híbridos em leilões de energia.

Necessidade de avaliar de maneira consistente as vantagens e limitações dessa estratégia, e obter evidências sobre a possibilidade de generalizar resultados;

Propor uma metodologia de análise de complementariedade entre geração a partir dos recursos eólico e fotovoltaico;

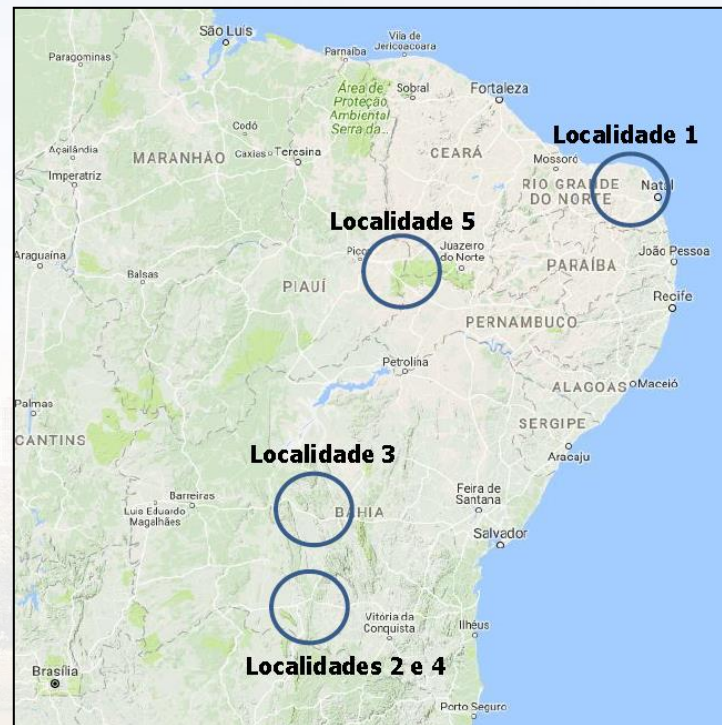
Avaliar perdas de energia por limitação de escoamento quando da conexão conjunta de usinas, por meio de estudos de casos;

Analisar os principais parâmetros que influenciam em tais perdas;



## LOCAIS ESTUDADOS

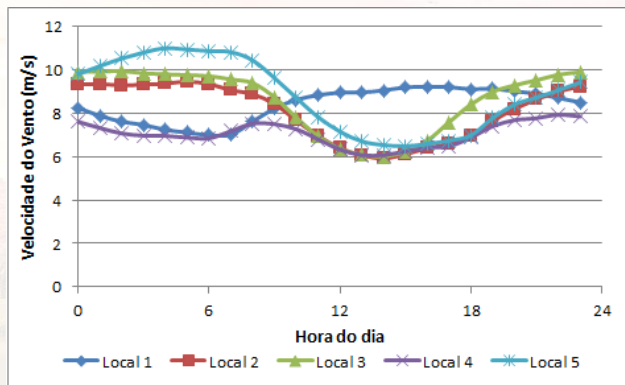
- Foram selecionados 5 locais para os quais se possuía dados anemométricos e solarimétricos com:
  - Distância máxima de 20 km entre si.
  - Mínimo de 12 meses de medições concomitantes;
  - Dados a cada 10 minutos.



Indicação aproximada dos locais estudados

## Dados anemométricos:

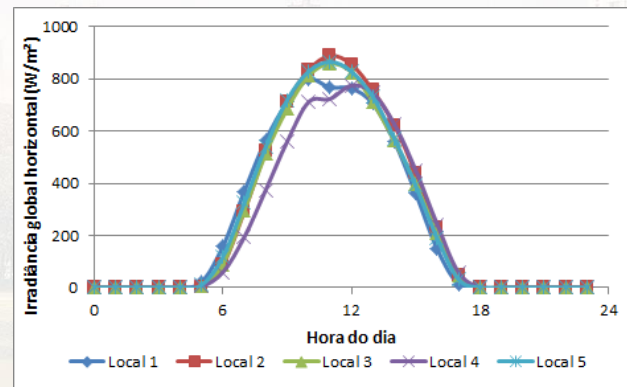
- Sistema AMA – torres de parques em operação ou construção;
- Perfil de ventos varia para cada local – mais noturno ou diurno



Recurso eólico médio horário

## Dados solarimétricos:

- Projetos cadastrados para os leilões de energia.
- Perfis do recurso mais similares para todos os locais;

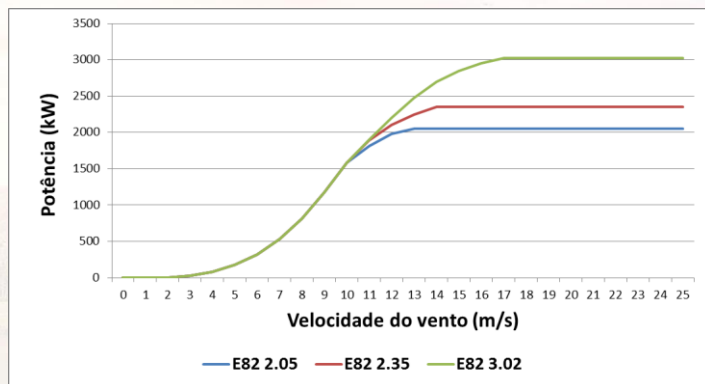


Recurso solar médio horário

# CÁLCULO DA PRODUÇÃO EÓLICA

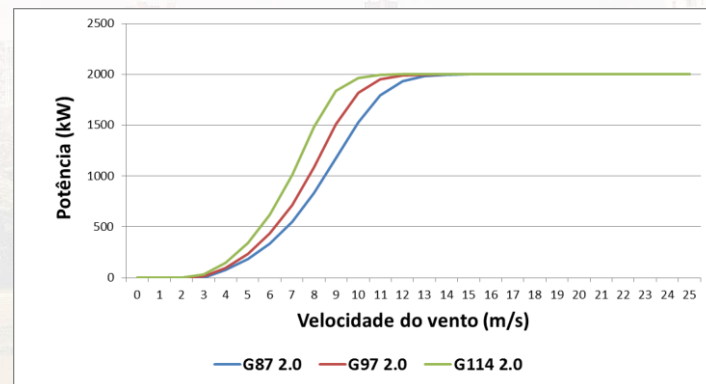
Dois parâmetros dos aerogeradores avaliados:

- Potência Nominal;
- Diâmetro de Rotor;



Total de 6 aerogeradores:

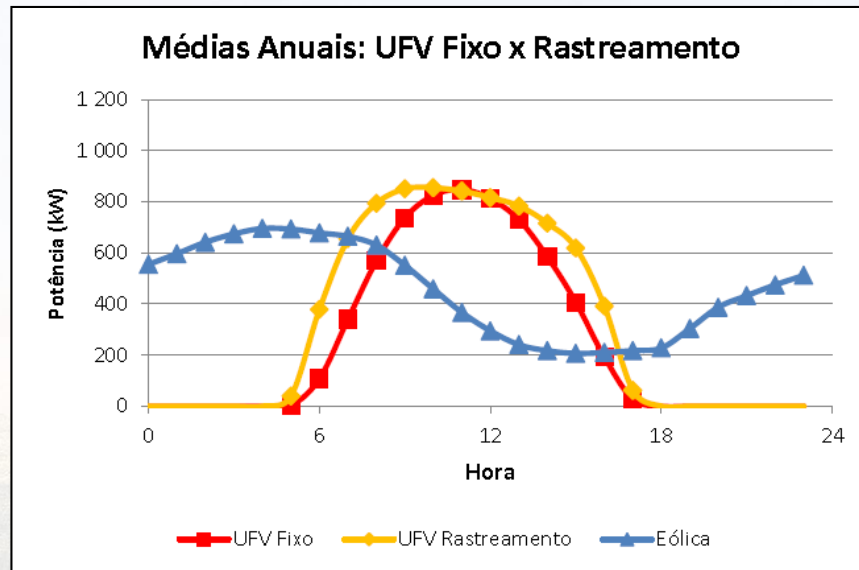
- Enercon E82 com 3 potências: 2,05 MW, 2,35 MW e 3,0 MW;
- GAMESA, potência de 2 MW: diâmetros de 87 m, 97 m e 114 m.



Curvas de potência dos aerogeradores considerados

Simulação no software SAM (NREL) no qual foram definidas usinas padrão:

- Módulos policristalinos, 310 Wp;
- Inversores de 1MW, com arranjos de 1,23 MWp;
- 2 configurações de estrutura:
  - Fixa a 10° de inclinação Norte;
  - Rastreamento de 1 eixo;



## AVALIAÇÕES REALIZADAS

Considerada inicialmente proporção de 10 unidades de potência eólica para 1 de fotovoltaica; → Proporção variada em análises subsequentes;

Capacidade de escoamento igual à potência eólica instalada;

### Parâmetro de análise:

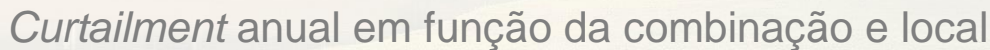
- Energia fotovoltaica que deixa de ser escoada por restrição de conexão (*curtailment*)

5 Locais;  
6 Aerogeradores;  
2 Configurações FV  
• 60 Casos!



Resultados fortemente dependentes da combinação de equipamentos e do local:

- Para o mesmo local, grandes variações dependendo da combinação;
- Para a mesma combinação, também há variação no resultado a depender do local;
- Grande influência da curva de potência do aerogerador, em especial de sua velocidade nominal;

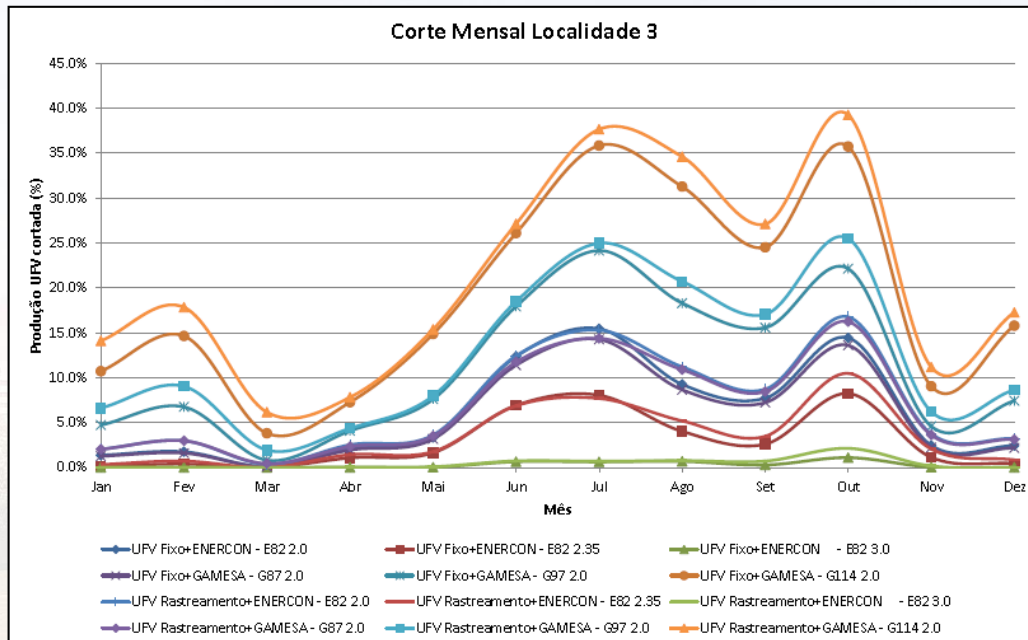


## RESULTADOS: CURTAILMENT SAZONAL (L3)

Há forte caráter sazonal no *curtailment*, associado principalmente à variação do recurso eólico;

Meses com pouco vento apresentam curtailment muito baixo para algumas combinações;

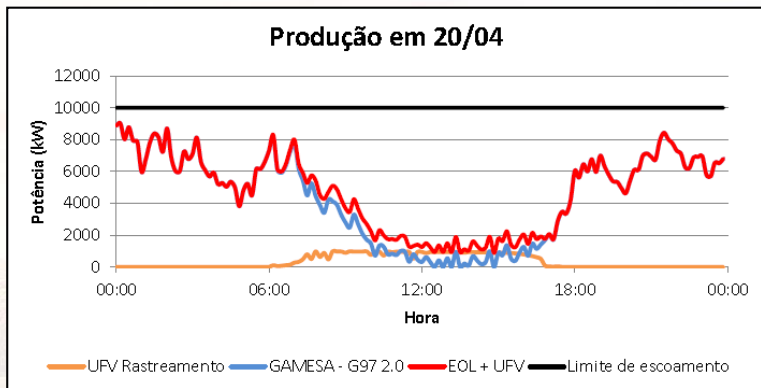
Já meses com recurso eólico favorável apresentam cortes de quase 40%, a depender da configuração;



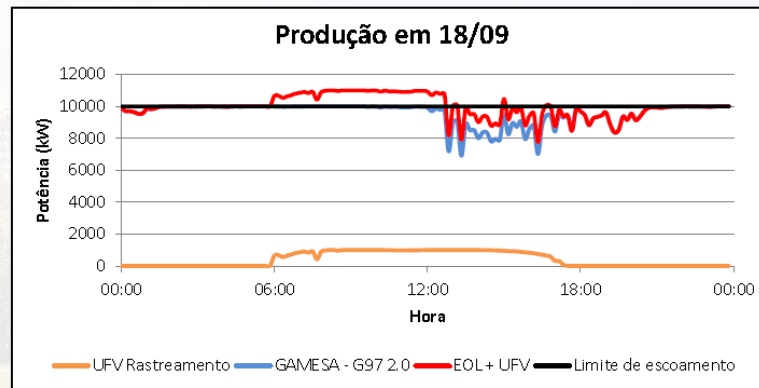
Curtilment mensal em função da combinação (local 3)

Dias com menores velocidades de vento: possível escoar produção fotovoltaica;

Recurso eólico mais favorável: aerogerador na potência nominal, não há capacidade de escoamento adicional;



Produção conjunta 20/04 – Localidade 3



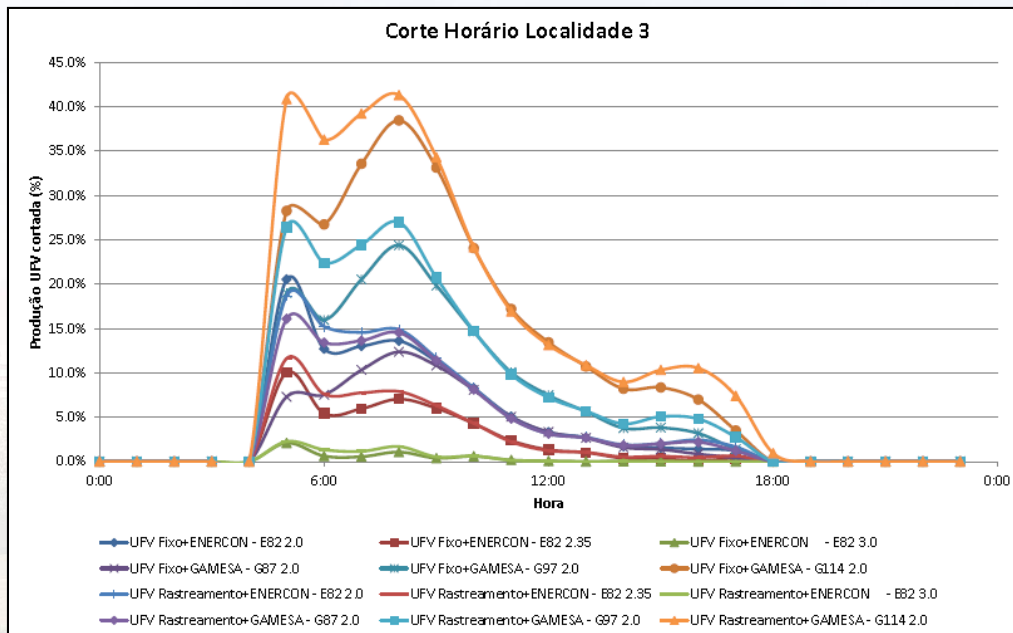
Produção conjunta 18/09 – Localidade 3

## RESULTADOS: CURTAILMENT POR HORÁRIO (L3)

Conforme indicado na análise anterior, o corte de energia também varia com o horário;

Para esta localidade, a tendência é que haja mais cortes pela manhã – à tarde os ventos diminuem (na média);

Cada localidade possui seu perfil de *curtailment*, a depender do perfil de ventos;

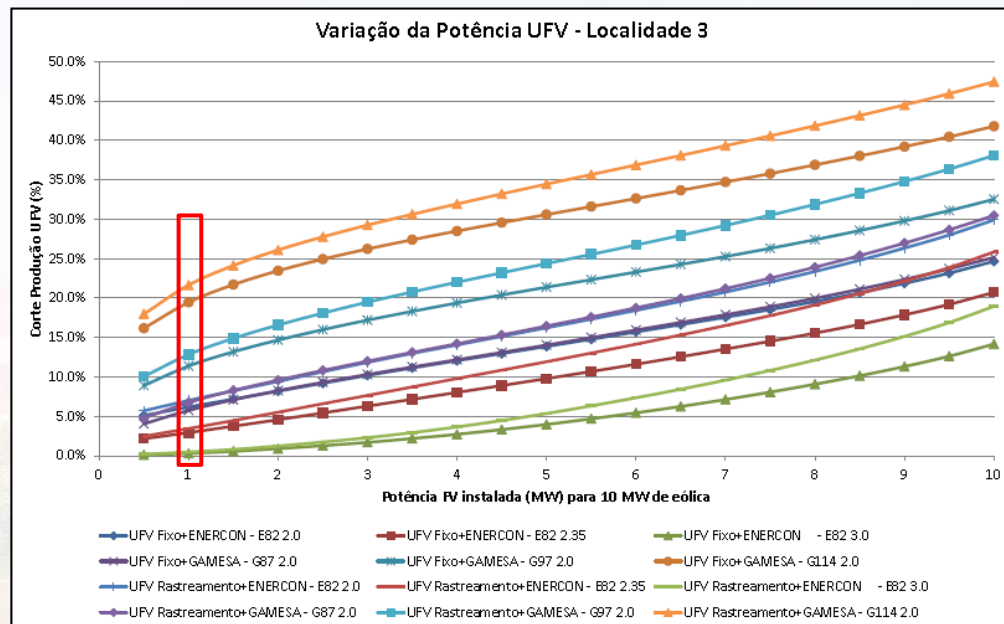


Curtilment horário em função da combinação (local 3)



Percebe-se novamente a forte influência da combinação de equipamentos;

Enquanto para algumas combinações pequenas potências de FV sofrem grandes cortes, para outras é possível instalar maiores quantidades de fotovoltaica com baixos níveis de *curtailment*;



Curtailment anual em função da potência FV (local 3)

## CONCLUSÕES

---

- Benefícios da complementariedade dependem:
  - Das características do recurso local, em especial perfil diário e sazonal dos ventos;
  - Do dimensionamento e das características técnicas de cada usina.
- Não é possível generalizar resultados, estudo deve ser feito para cada caso;
- Importante realizar estudo completo, em base temporal granular, evitando o uso de valores médios;
- Deve-se atentar para a sazonalidade dos recursos, e suas implicações na produção de energia da usina combinada;

## Nota Técnica:

- [www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br) -> Geração de Energia
- Análises mais detalhadas e gráficos para as demais localidades;

**Ministério de Minas e Energia**

**epe** Empresa de Pesquisa Energética

Pesquisa Avançada

Logon

EPE Imprensa Estatísticas Prestação de Contas Quem Somos Fale Conosco UPT

## Áreas de atuação

- Acesso à Informação
- Leilões
- Planos e Balanços

## Geração de Energia

- Sistemas Isolados
- ICAPM
- Transmissão de Energia
- Mais Ambiente
- Economia e Mercado Energético
- Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
- Concursos

## EPE lança estudo de avaliação da geração de usinas híbridas eólico-fotovoltaicas

27-04-2017

A Empresa de Pesquisa Energética – EPE disponibiliza o documento “Avaliação da geração de usinas híbridas eólico-fotovoltaicas - Proposta metodológica e estudos de caso”. O estudo apresenta simulações de geração de energia elétrica de usinas fotovoltaicas e eólicas e discute o efeito da complementariedade dessas fontes, para diferentes regiões e configurações de usinas. No estudo considerou-se como premisa o compartilhamento do ponto de conexão por essas usinas simuladas, avaliando hipótese de otimização do uso da subestação e do sistema de transmissão ou distribuição responsável pelo escoamento da energia. Os resultados obtidos apontam para a importância da discretização dos dados utilizados, bem como sinalizam que as características dos recursos energéticos locais e o dimensionamento de cada usina, são fatores que influenciam sensivelmente o perfil de complementaridade da produção de energia eólico-fotovoltaica, devendo-se ter cautela na generalização dos possíveis benefícios de otimização da infraestrutura. Pretende-se, com esse estudo, estimular o amadurecimento da discussão sobre o tema e propor uma metodologia consistente para avaliação da complementaridade entre as fontes solar fotovoltaica e eólica.

**Links:**

EPE-DEE-NT-025\_2017-r0\_Usinas híbridas EOL e UVF

Copyright © 2009 Empresa de Pesquisa Energética - EPE

## CRISTIANO SABOIA RUSCHEL

---

 (21) 3512-3366

 [cristiano.ruschel@epe.gov.br](mailto:cristiano.ruschel@epe.gov.br)

 [www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br)