

PAINEL 9 | GERAÇÃO PRÓPRIA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS SISTEMAS METROFERROVIARIOS



ANTONIO ROBERTO DONADON

ANALISTA DE INOVAÇÃO

CPFL PIRATININGA





20ª Semana de Tecnologia Metroferroviária – P&D Usina Solar Tanquinho

São Paulo, 12 de setembro de 2014



A | **Energia solar – mundo e Brasil**

B | **Usina Solar Tanquinho**

C | **Resultados até o momento e lições aprendidas**

D | **Pontos de atenção e oportunidades**



A | Energia solar – mundo e Brasil

B | Usina Solar Tanquinho

C | Resultados até o momento e lições aprendidas

D | Pontos de atenção e oportunidades



Mercado: Energia solar fotovoltaica mundo

- China e Taiwan entraram no mercado de produção em massa de módulos em 2004. No final de 2013 já possuíam 70% do mercado mundial de módulos fotovoltaicos.
- Módulos FV de silício cristalino responderam por 90% da produção total em 2013. Módulos policristalinos são 55% desse valor.
- Filme fino responderam pelos 10% restantes.
- A Alemanha possui 27% (35,7 GWp) da capacidade instalada mundial (134 GWp).
- Sistemas FV produziram 5,3% da demanda de eletricidade da Alemanha em 2013.

Tecnologia: Eficiência células e módulos



- O recorde de eficiência em lab é de 25% para monocristalino e 20,4 para multicristalino. Filme fino: 19,8% (CIGS) e 19,6% (CdTe).
- Nos últimos 10 anos a eficiência média dos módulos baseados em silício aumentou de 12% para 16%. CdTe foi de 9% para 13%.
- Células multijunção com concentração atingiram em laboratório eficiência de até 44,7%.



- A utilização de material em células de silício foi reduzida significativamente nos últimos 5 anos de cerca de 16 g/Wp para 6 g/Wp devido ao aumento de eficiência e wafers mais finos.
- A eficiência para o estado da arte dos inversores estão acima dos 98%.
- Na Alemanha os preços dos sistemas FV residenciais de 10 a 100 kWp eram de 14.000 €/kWp em 1990. No final de 2013, estes custos caíram para cerca de 1.350 €/kWp, significando uma redução de 89% em período de 23 anos.



- Marco para a geração distribuída no Brasil.
- Novo paradigma: o consumidor pode se tornar um gerador de energia;
- Micro e minigeração distribuída;
- Compensação Financeira

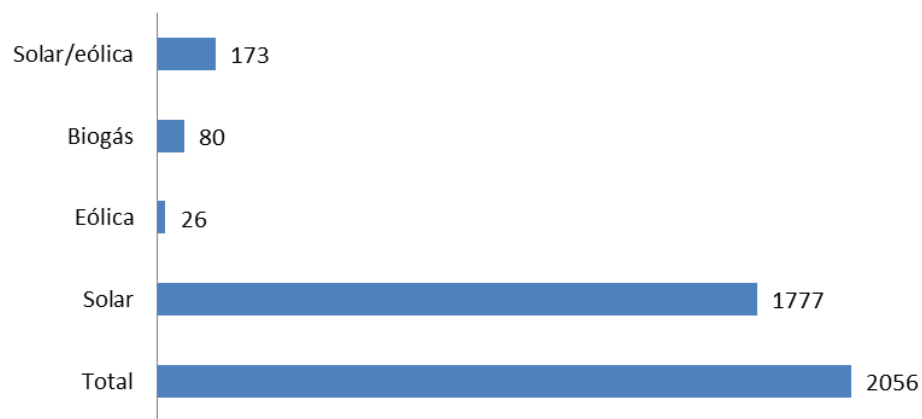
Panorama: Brasil – Resolução 482 ANEEL



Número de Conexões por Fonte de Geração



Potência Total Instalada (kW)



Fonte: ANEEL

Alemanha período de 2012/2013 – 308.000 sistemas FV (4.000 vezes)

Fonte: ISE_PhotoVoltaics-Report, 2014

A | Energia solar – mundo e Brasil

B | **Usina Solar Tanquinho**

C | Resultados até o momento e lições aprendidas

D | Pontos de atenção e oportunidades



Com capacidade instalada de 1,1 MWp, a planta de Tanquinho é a maior do Brasil e a primeira do Estado de São Paulo



PARCEIROS / FINANCIADORES



GRANDES NÚMEROS

- > **Capacidade instalada:** 1,1 MWp
- > **# painéis:** 5.382
- > **Investimento:** R\$ 13,8 milhões (R\$ 8,5 usina + R\$ 5,3 planta BT e estudos)
- > **Prazo:** 36 meses (Testes até abr/15)
- > **Parceiros:** Unicamp, Hytron, Lactec, PSR, Fraunhofer, Aqua Genesis

PRINCIPAIS OBJETIVOS DO PROJETO

- > **Pioneirismo do Grupo no desenvolvimento de nova fonte de geração** para a matriz elétrica brasileira
- > **Inserção técnico-comercial da energia solar** na rede
- > **Integração de energia solar com energia eólica** para analisar potenciais ganhos – instalação de plantas solares nos parques eólicos já existentes
- > **Inserção e teste de 5 tecnologias** de energia solar

Estamos trabalhando com diversos parceiros colaborando com a absorção de know-how e desenvolvimento da cadeia produtiva



Centros de pesquisa



Fornecedores



Cooperadas



> Executores P&D (7 empresas)

- Hytron (coordenadora projeto)
- 1 Universidade
- 2 Institutos de Pesquisa
- 2 de base tecnológica
- 2 engenharia e consultoria

> Fornecedores de serviços (6 empresas)

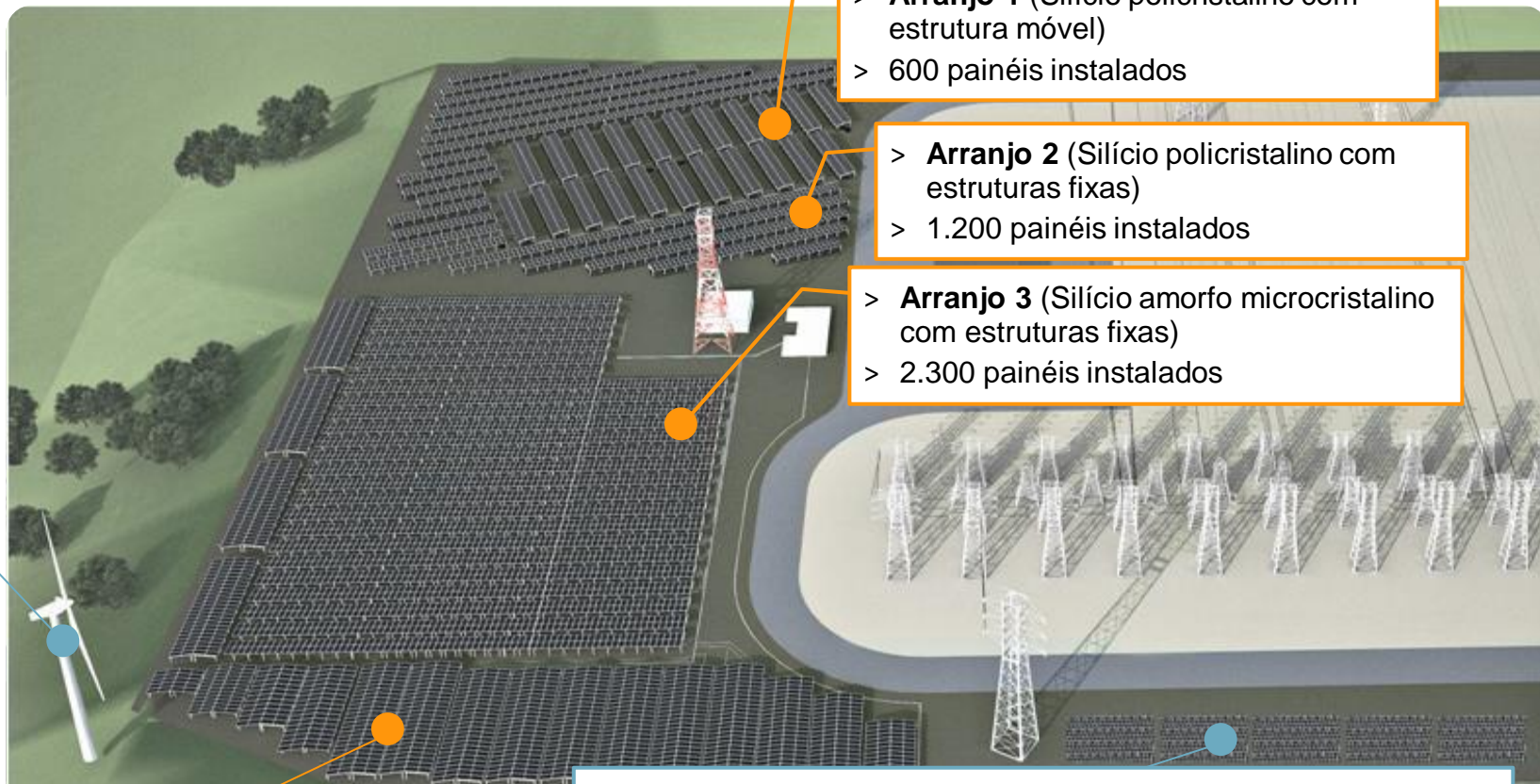
- CPFL Serviços
 - Projeto conexão MT (11.9 kV)
 - Projeto e construção casa de comando
 - Construção planta (montagem, ligação, conexão)
 - Gestão obra
- SunEdison e EBES (projeto, PVs e Inversores)
- SETUP e CPqD (Smart Integration)

> Empresas cooperadas (14)

Estão sendo estudados 4 tipos de arranjo de planta, 5 tecnologias de painéis FV (sendo uma nacional) e integração solar/eólica

> Aerogerador de 6 kW, para estudar integração entre energéticos (sol e vento)

> Ex.: um parque eólico de 100 MW poderia ser combinado com uma planta solar de 240 MW



> **Arranjo 1** (Silício policristalino com estrutura móvel)
> 600 painéis instalados

> **Arranjo 2** (Silício policristalino com estruturas fixas)
> 1.200 painéis instalados

> **Arranjo 3** (Silício amorfo microcristalino com estruturas fixas)
> 2.300 painéis instalados

> **Arranjo 4** (Silício amorfo microcristalino com estruturas fixas "shade")
> 1.300 painéis instalados

> Centro de estudo para a integração das 5 tecnologias de geração de energia solar à geração de energia eólica (15 kW de cada)
> Filmes finos (3 tipos – Silício amorfo microcristalino, CIGS, CdTe), 2 tipos de silício cristalino (mono e poli)

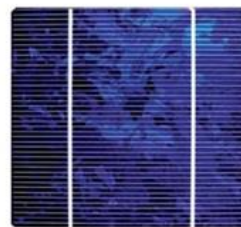
Tecnologias: Exemplo tecnologias, eficiências e custos por Wp



	Policristalino	Monocristalino	Filme Fino
Eficiência comercial (%)	14 – 18	16 – 21	6 – 14
Custo (US\$/Wp) ⁽¹⁾	1,06	1,1	0,84
Participação no Mercado	45%	40%	14%



Monocristalino

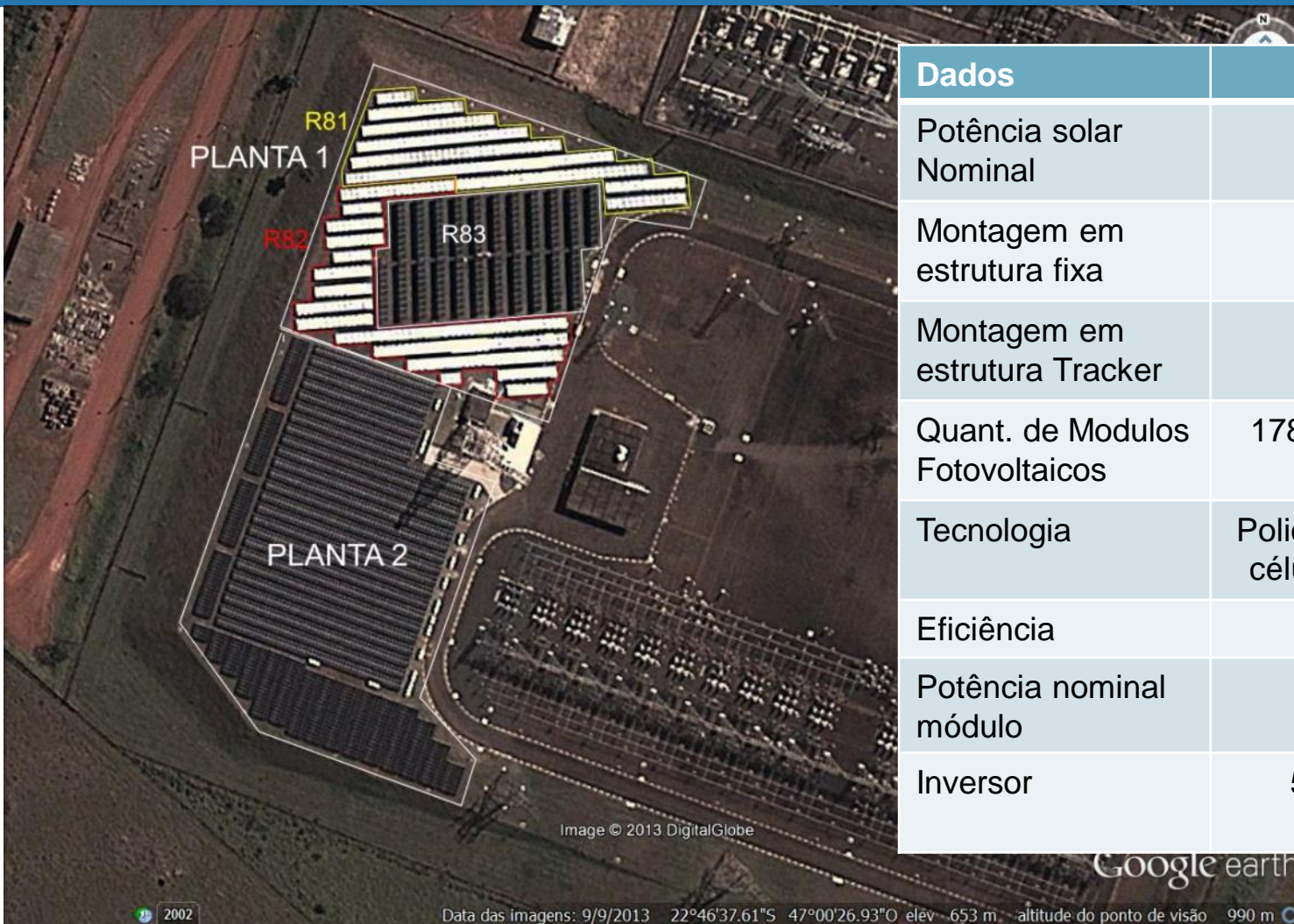


Policristalino



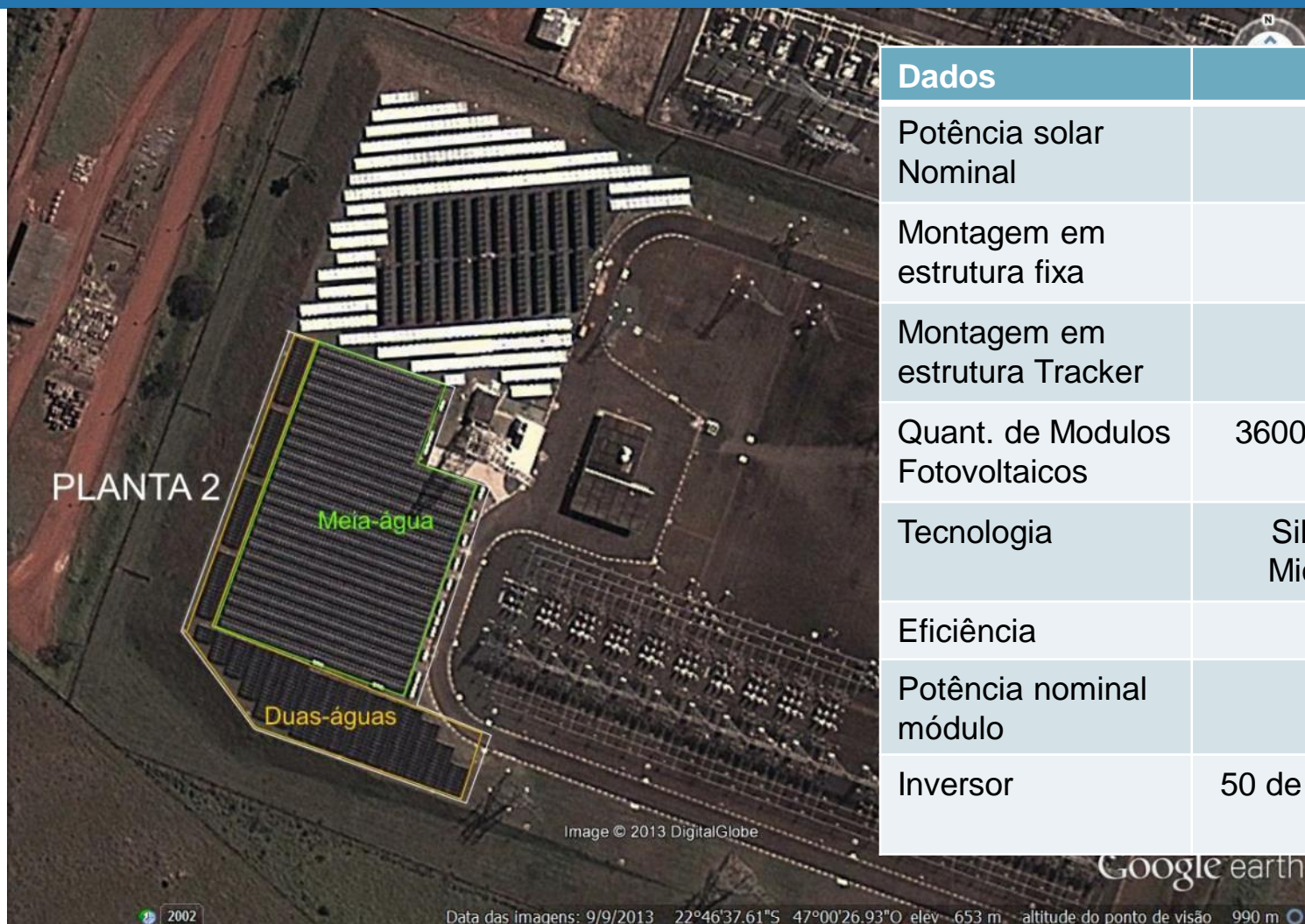
Filme Fino

Planta 1 – 1ª geração (silício policristalino): 3 partes sendo 2 com estruturas fixas (R81 e R82) e 1 com tracker em um eixo (leste-oeste)



Dados	Valor
Potência solar Nominal	499 kWp
Montagem em estrutura fixa	333kWp
Montagem em estrutura Tracker	166kWp
Quant. de Modulos Fotovoltaicos	1782 (marca Yingli)
Tecnologia	Policristalino, com 72 células cada (12x6)
Eficiência	14,4%
Potência nominal módulo	280 Wp
Inversor	500kW indoor 3 MPPT

Planta 2 – 2ª geração (silício amorfo microcristalino): Sistema meia-água e duas águas (simula aplicação em telhados)



Dados	Valor
Potência solar Nominal	511 kWp
Montagem em estrutura fixa	511 kWp
Montagem em estrutura Tracker	-
Quant. de Módulos Fotovoltaicos	3600 (marca Apollo DuPont)
Tecnologia	Silício Amorfo Microcristalino
Eficiência	9,1%
Potência nominal módulo	142 Wp
Inversor	50 de 10 kW outdoor

Performance ratio (PR): Dados planta 1 – silício policristalino – tecnologia de primeira geração - 2013



Produtos gerados: Workshops técnicos, treinamentos, relatórios de produtos e troca de experiências

The Fifth International Renewable Energy Congress

14-PVE-225-O

Power Quality Analyses of a Large Scale Photovoltaic System

Pedro A. B. Block, Henry L. L. Salamanca, Matcus D. Teixeira, Diogo B. Dahlke, Otavio M. Shiono
LACTEC
Curitiba, Brazil
pedro.block@lactec.org.br

Antônio R. Donadon
CPFL
Campinas-SP, Brazil
donadon@cpfl.com.br

João C. Camargo
HYTRON
Campinas-SP, Brazil
joao.carlos@hytron.com.br

Abstract— This work presents the results and analysis of a power quality measurement realized in a large scale PV system. The evaluated system is a 1 MVA centralized PV plant with different technologies of photovoltaic panels and inverters. The power quality measurement was made in accordance with the Brazilian and international power quality regulation. The magnitudes measured were voltage, current, power, power factor, unbalance and harmonic distortion. Additionally with the results of the measurements was evaluated the behavior of the inverters in different power demand situations. The inverter response for low power generation periods was worse than for high power generation periods. In photovoltaic system, low power periods occur at sunrise and sunset. Along these periods, high current harmonic distortion and low power factor levels were monitored. The results and analysis presented in this work contribute with the evaluation of the impact of large scale PV systems upon the power quality of the electric grid and the behavior of the commercial inverters for difference power generation levels.

Keywords — power quality; photovoltaic; PV system; inverters

I. INTRODUCTION

From the end of the last century, the importance and use of renewable energy sources have gained prominence, due not only by the fossil fuels dependence reduction, but mainly by environmental reasons related to climate change and the effects to the humanity. Consequently, solar energy has been arousing interest in several countries for being a technology considered clean, with reduced environmental impact [1].

With the growing insertion of photovoltaic energy and distributed power generation, in many countries have been created policies directed to increase the use of these technologies. For this reason, research studies are being promoted for evaluating the impacts of PV systems on the electrical energy system, specially its impacts to power quality disturbances, voltage regulation and system protection.

The authors are grateful to Power and Light Sao Paulo Company – CPFL by the financial support for this research through the R&D program of ANEEL.

Regards to power quality, the harmonic impact of PV systems is focus of several studies [2-6] and deserves special attention. The harmonic generation of a PV system depends on the inverter technology, solar irradiance, temperature, loads and the supply system characteristics [4]. According to [7] the harmonic distortion generated on PV plants can occur as a result of intrinsic and extrinsic effects. Intrinsic harmonic distortions are related with inverter deficiencies, e.g. components and control loop nonlinearities, measurement inaccuracies, and limited PWM resolution.

Extrinsic effects on the waveform of a PV plant include the effects of connection to a weak and distorted electrical grid. A distorted voltage acts like a disturbance in the inverter control system, causing distortion on the current waveform form generated by the inverter.

Thus, being the solar energy a source with large potential in Brazil, this paper is focused in the analysis of the impact upon the power quality of a 1 MVA PV plant connected to a medium voltage distribution system. The results are compared with the limits values imposed by Brazilian regulation, PRODIST Module 8 [8] (Distribution Proceedings).

II. METHODOLOGY

A. PV System

The centralized photovoltaic system evaluated in this work is a 1 MVA plant with different technologies of photovoltaic panels and inverters. The plant called by “Usina Solar Tanquinho” was built by “CPFL Energia”, one of the most important distribution utility of Brazil, and it is the largest PV system currently in operation in Brazilian electric system. Figure 1 presents the photovoltaic system and Figure 2 the single line diagram of the PV plant under study.

INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS Construção

- Thesan Spa
- Studio Energy Srl
- East Energy Group



A | Energia solar – mundo e Brasil

B | Usina Solar Tanquinho

C | Resultados até o momento e lições aprendidas

D | Pontos de atenção e oportunidades



QUANTO JÁ GERAMOS: Produção mensal comparativa 2013/2014



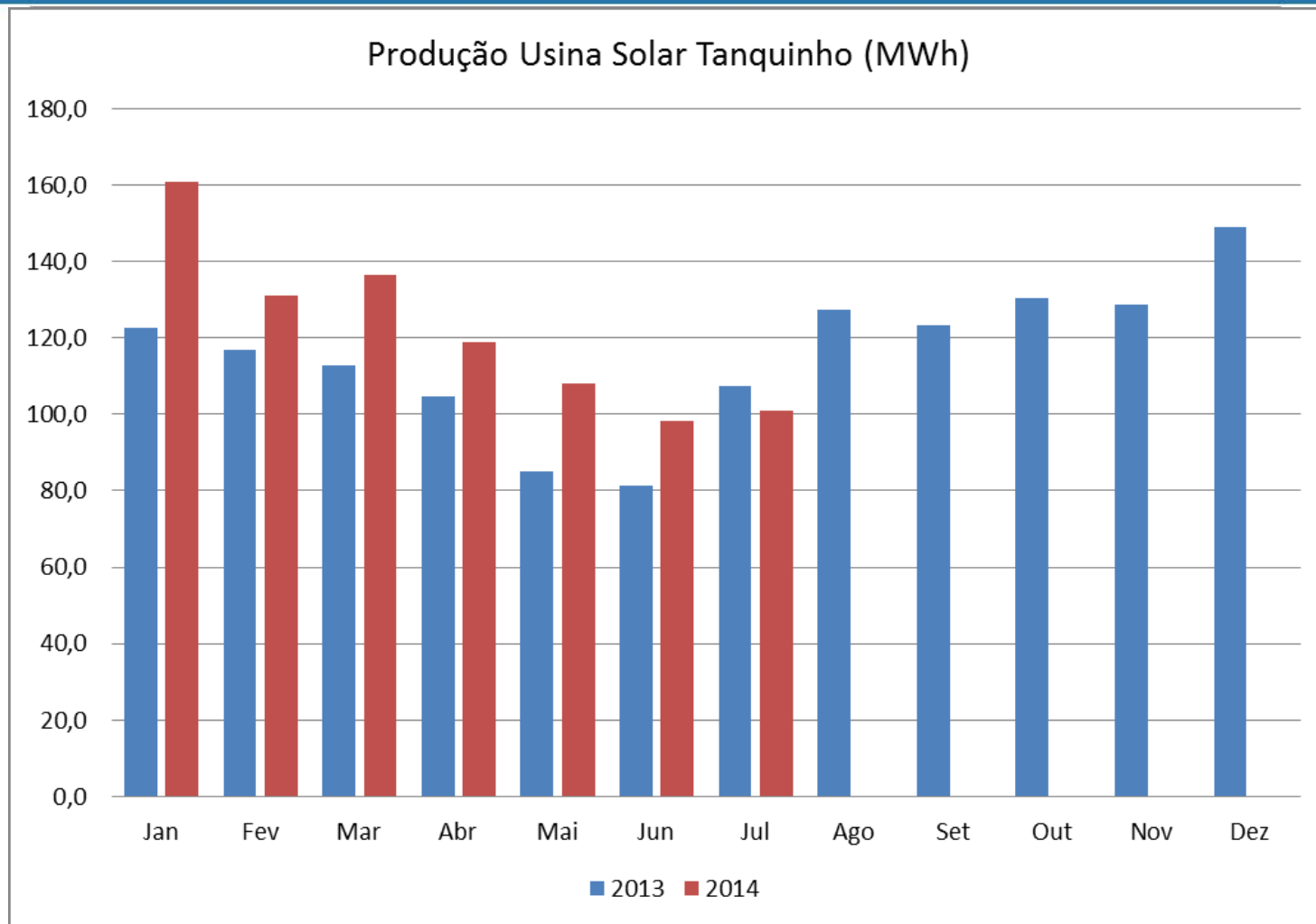
Produção Total 2013:
1.390 MWh.

Fator de Capacidade 2013:
16% (1376 kWh/kW)

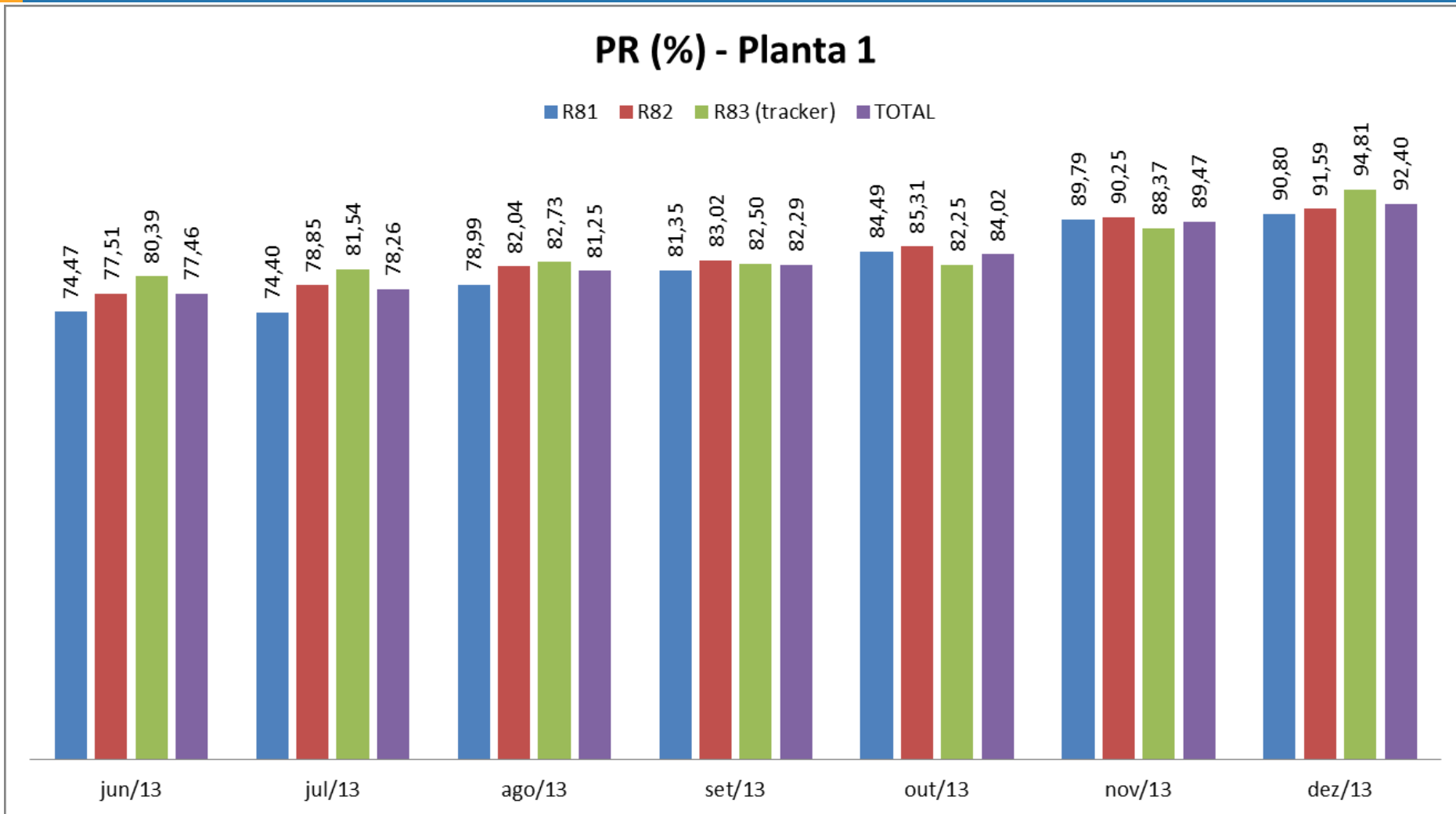
* Valores médios

* 8 meses 1ª limpeza

Produção até Jul/2014 :
2.249 MWh



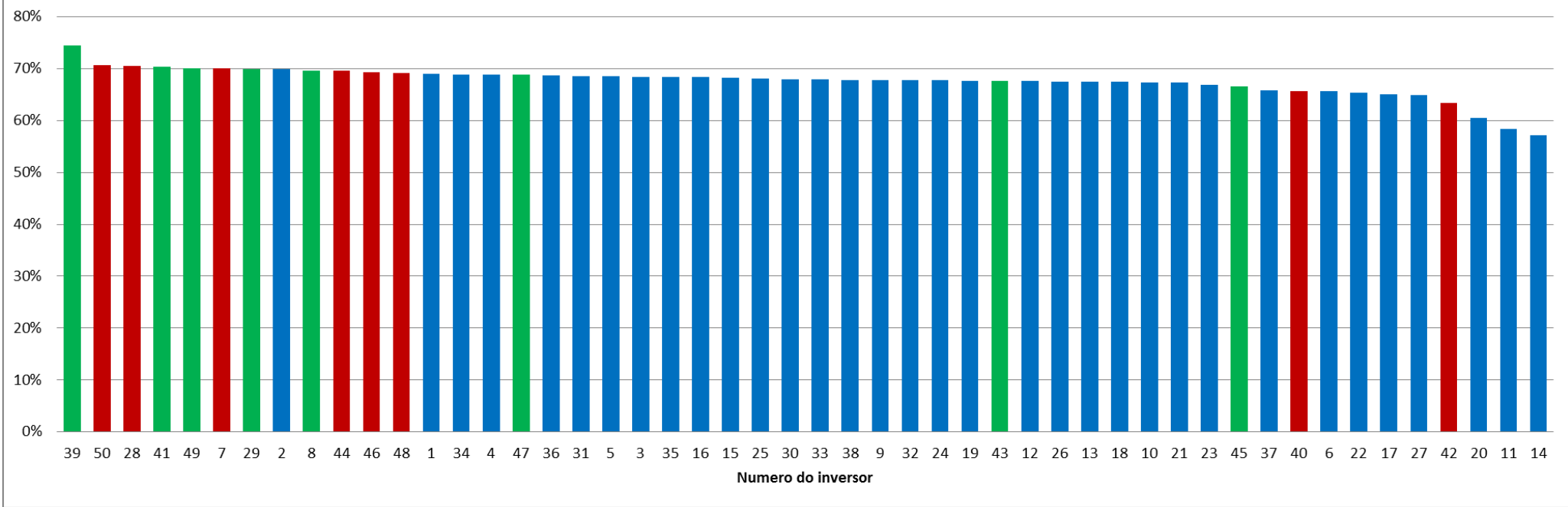
Performance ratio (PR): Dados planta 1 – silício policristalino – tecnologia de primeira geração - 2013



Performance ratio (PR): Desempenho por inversor planta 2 – filme fino – silício amorfo microcristalino – em ordem decrescente de desempenho por inversor – Jul / 2014

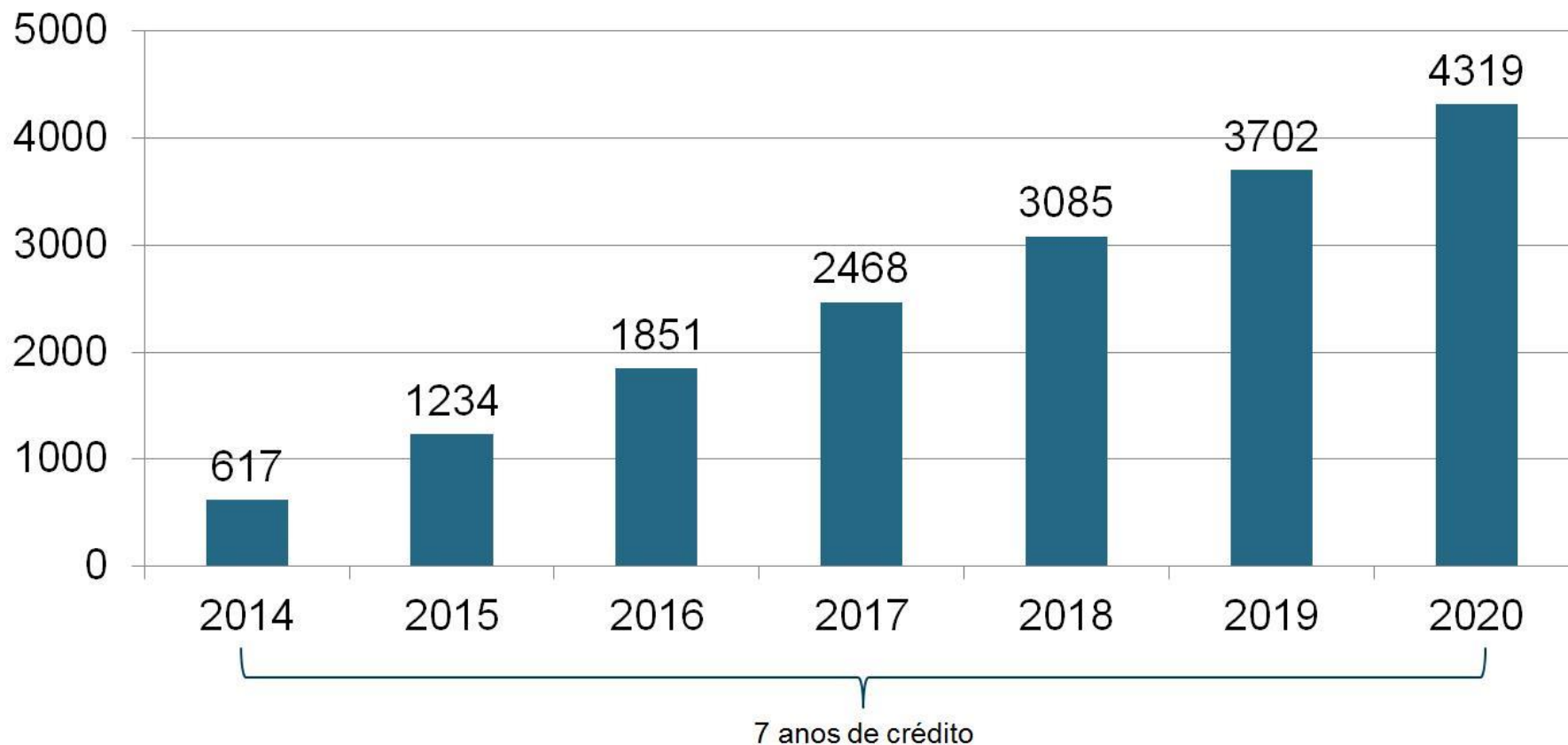


PR Inversores Planta 2 - Jul/14

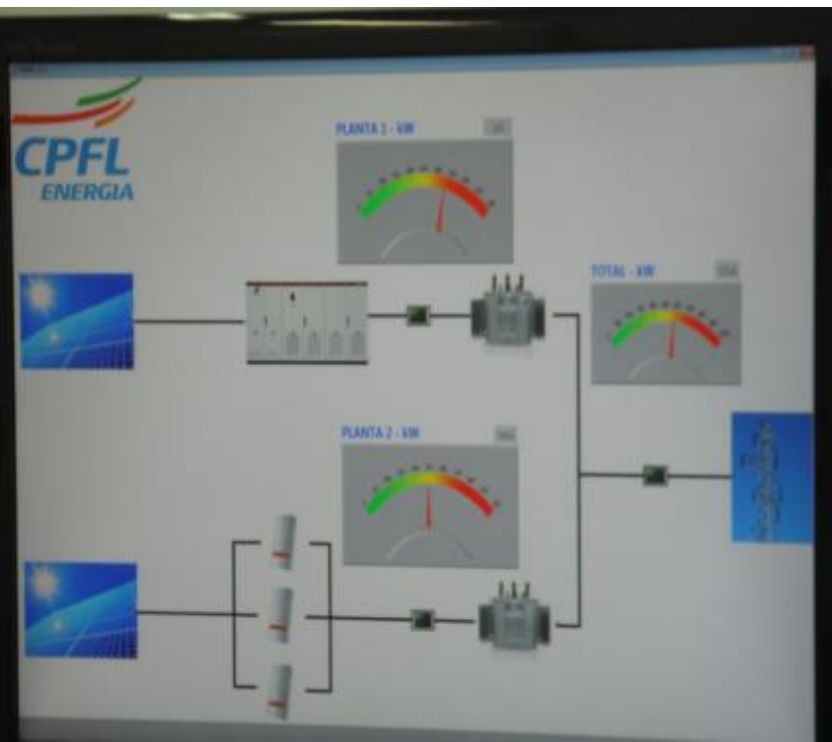


Redução de Emissões de CO₂: Resumos das estimativas ex-ante de redução de emissões

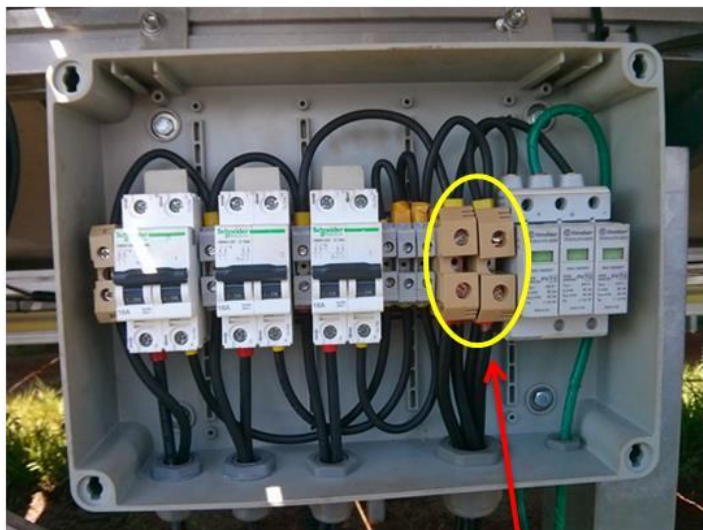
Redução de emissões (tCO₂e) [Valores acumulados]



Sistema de monitoramento *Smart Integration*



OCORRÊNCIA: ARCO ELÉTRICO



Mau contato

Medidas adotadas



- Curto Prazo (2 dias)
 - Verificação de pontos quentes em todas as caixas de string da planta utilizando termovisores
- Médio Prazo (30 dias)
 - Verificação junto ao instalador da Planta 2 (EBES) a substituição de todas as caixas de strings.
 - Instalação de dispositivos de detecção de arco elétrico

Manutenção: Rotina de verificação de componentes da planta



Verificação do aperto/fixação de painéis

Rajada de vento de 108,75 km/h direção 297 graus às 22h18min registrado na estação meteorológica Campbell dia 02/09/14.

OCORRÊNCIA: DESCARGA ATMOSFÉRICA

- Queima placas de aquisição de dados sistema monitoramento de strings planta 1.
- Cabeamento RS 485 sem proteção de surto.
- Medidas corretivas adotadas:
- Verificação com o instalador da planta (SUNEDISON) a instalação de protetores de surto.



Influência da Fauna Local



NOVOS NEGÓCIOS: Tanquinho trouxe contribuições para o desenvolvimento de grandes usinas solares

- ➔ **Distância da subestação** influencia diretamente na viabilidade econômica do projeto solar
- ➔ Vizinhança com **atividade agrícola** pode prejudicar a geração de energia devido ao acúmulo de particulados nos painéis
- ➔ **Declividade do terreno** pode restringir a instalação dos módulos
- ➔ **Tipologia do solo** interfere na montagem e fixação da estrutura
- ➔ **Espaçamento entre módulos** influencia a manutenção da planta e sombreamento
- ➔ **Inclinação** influencia no acúmulo de sujeira e geração de energia
- ➔ Ganho de **Know-how** na elaboração do projeto executivo, construção e operação de usinas solares

A | Energia solar – mundo e Brasil

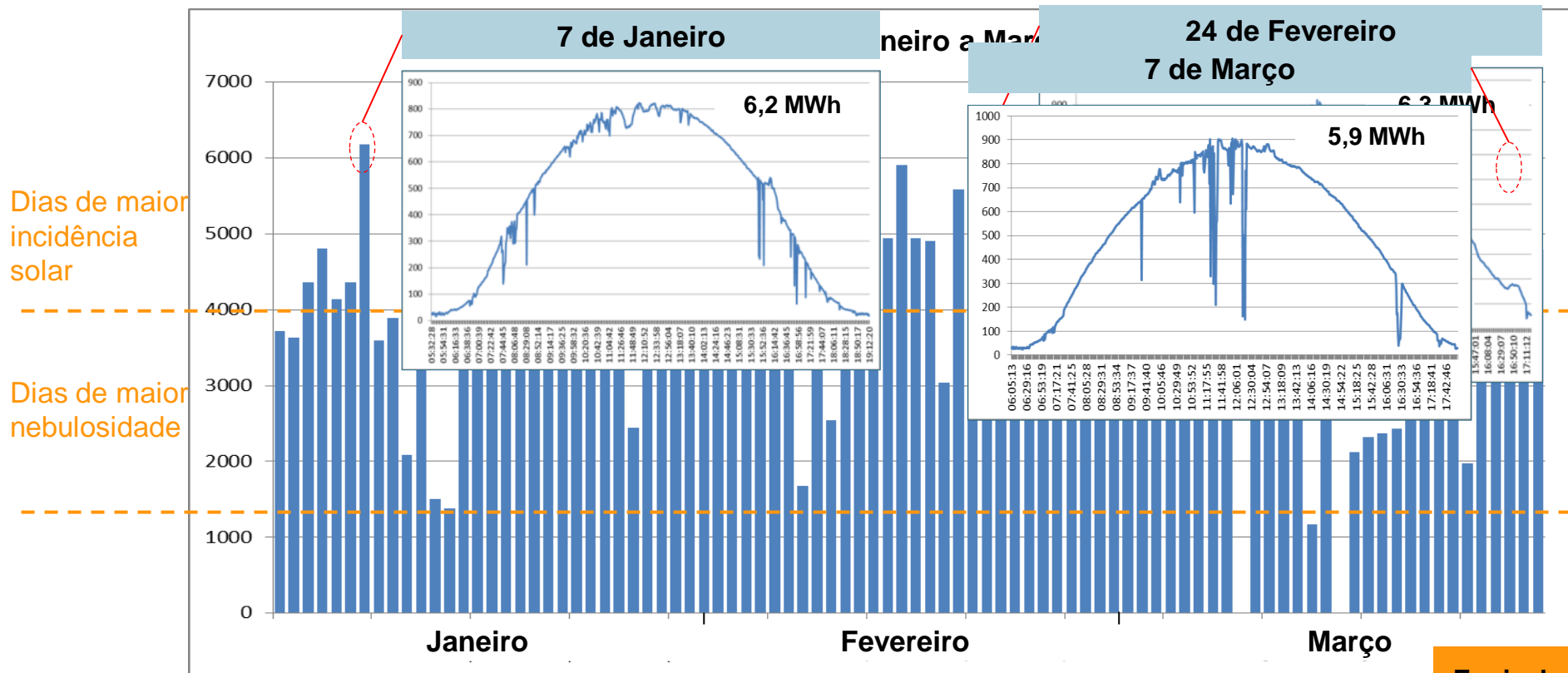
B | Usina Solar Tanquinho

C | Resultados até o momento e lições aprendidas

D | Pontos de atenção e oportunidades



QUANTO JÁ GERAMOS: Geração total planta Janeiro a Março/2013 foi de 367 MWh com um fator de capacidade médio de 17%



Geração total

128 MWh

122 MWh

117 MWh

Equivalente a
~675
residências

Fator de
capacidade

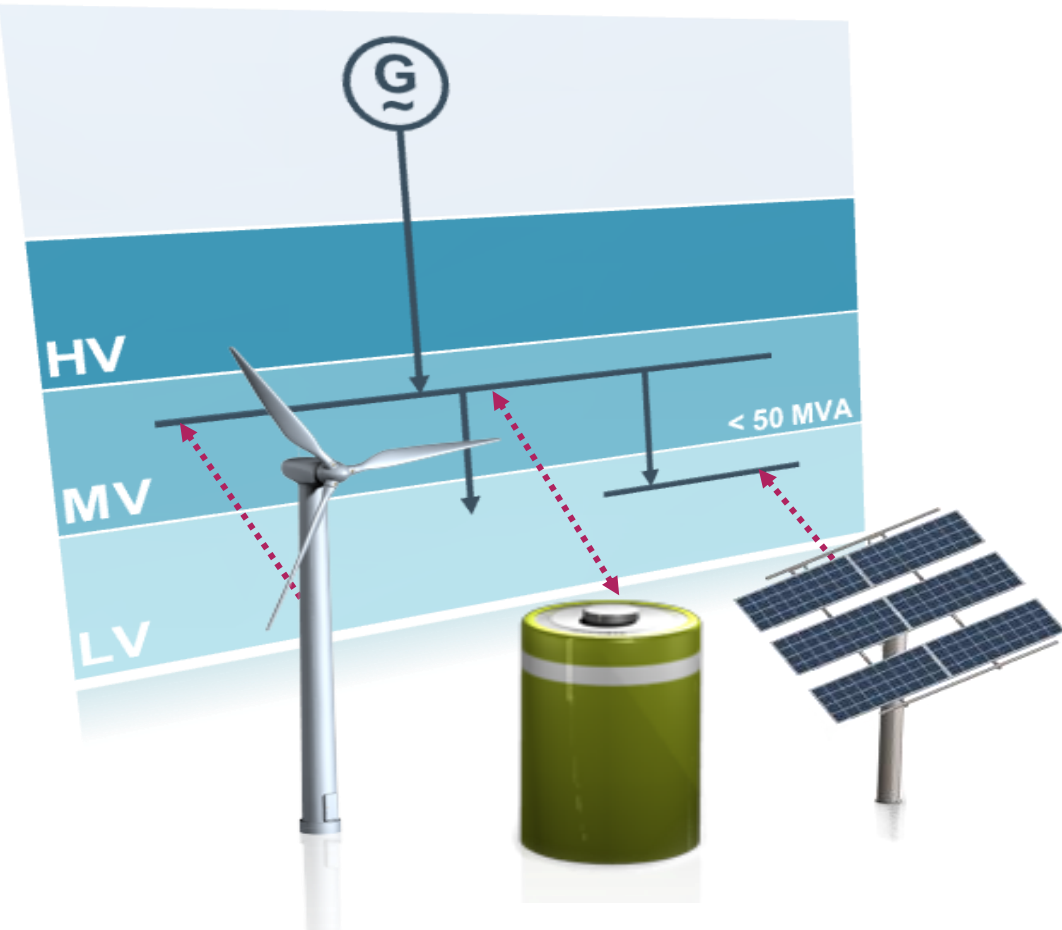
17%
(1.490 kWh/kW.ano)¹⁾

18%
(1.577 kWh/kW.ano)¹⁾

17%
(1.454 kWh/kW.ano)¹⁾

1) Fator de capacidade considerando a energia injetada na rede (no medidor)

Desafios da penetração da energia fotovoltaica na rede de energia elétrica



- Balanço de energia
- Additional spinning reserve
- Controle de potência ativa e reativa
- Distribuição de uniforme de carga na rede
- Black start

Estabilidade da rede

Confiabilidade e / qualidade da energia



PDE 2023 aposta em renováveis As energias eólica e solar devem responder por cerca de um terço de toda nova capacidade a ser instalada até 2023, segundo versão preliminar do Plano Decenal de Expansão de Energia 2023 (PDE 2023) que foi disponibilizada para consulta pública...

Fonte: **rechargenews.com**

Leilão de reserva – outubro 2014

Fonte: **EPE - ANEEL**

Obrigado!



Usina Solar Tanquinho