



V SENCESEF

**CONTRIBUIÇÃO DA GERAÇÃO SOLAR
FOTOVOLTAICA PARA A TRANSIÇÃO
ENERGÉTICA E DESCARBONIZAÇÃO**

05 DE OUTUBRO DE 2023

AUDITÓRIO DA CHESF
RECIFE - PE

Redes de Distribuição Ativas

Desafios da Dispersão de Recursos Energéticos Distribuídos

Leonardo Henrique de Melo Leite

FI Tec - Consultor Sr.

Cigre – Secretário CE-C6

FI Tec
Inovações Tecnológicas



Agenda

✓ Recursos Energéticos Distribuídos (RED)

- Caracterização
- Arranjos Técnicos-Comerciais
- Regulamentação
- Impactos no Sistema de Distribuição

✓ Gerenciamento de Recursos Energéticos Distribuídos

- DERMS
- Estudo de Caso

✓ CIGRE CE-C6 – Redes Ativas de Distribuição e RED

.

O que são Recursos Energéticos Distribuídos (RED)?

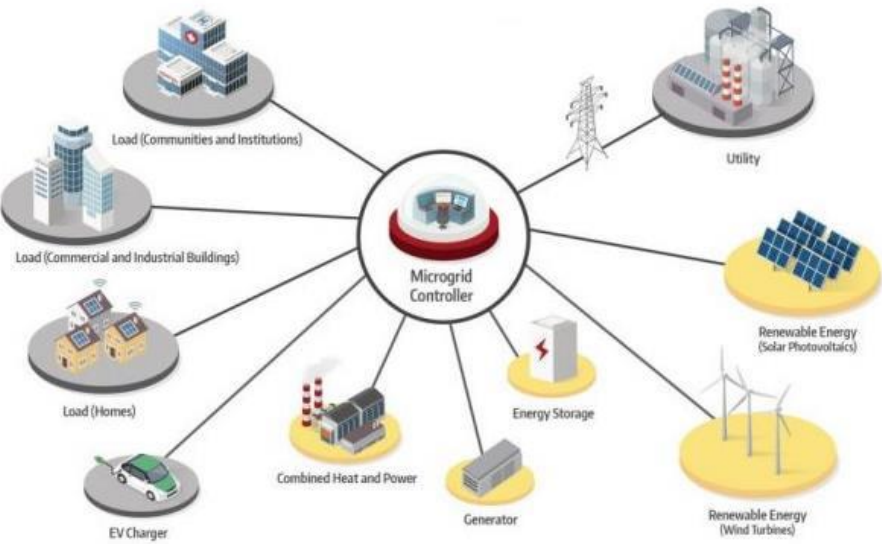
RED (DER - *Distributed Energy Resource*) são definidos como tecnologias de geração e/ou armazenamento de energia elétrica, localizados dentro dos limites da área de uma determinada empresa de distribuição de energia

- ✓ Fontes de Geração Distribuída
 - Solar
 - Eólica
 - CGH
 - Termoelétrica
- ✓ Sistemas de Armazenamento de Energia Elétrica
- ✓ Veículos Elétricos Plug in e estrutura de recarga (V2G)
- ✓ Gerenciamento pelo Lado da Demanda
- ✓ Eficiência Energética

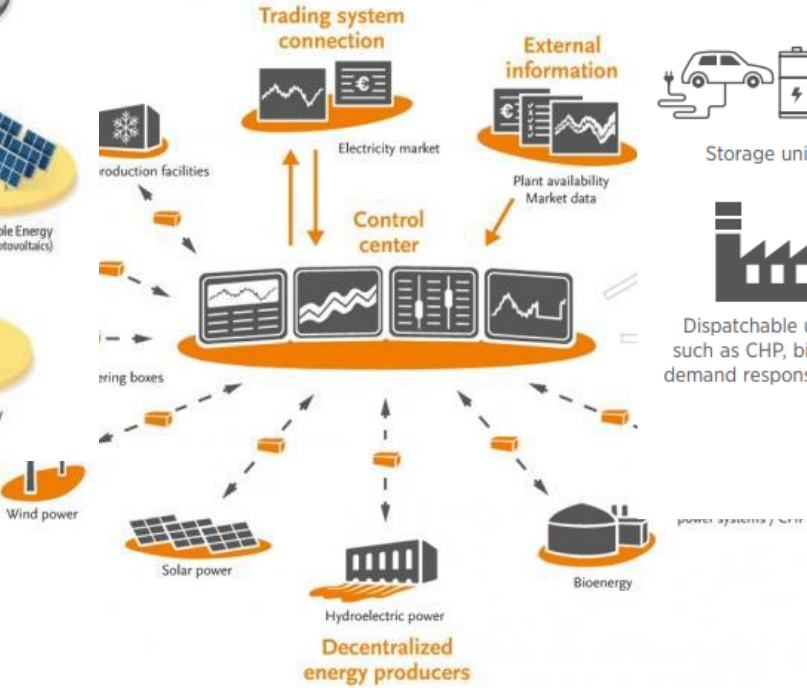


Arranjos Técnico-Comerciais que utilizam RED

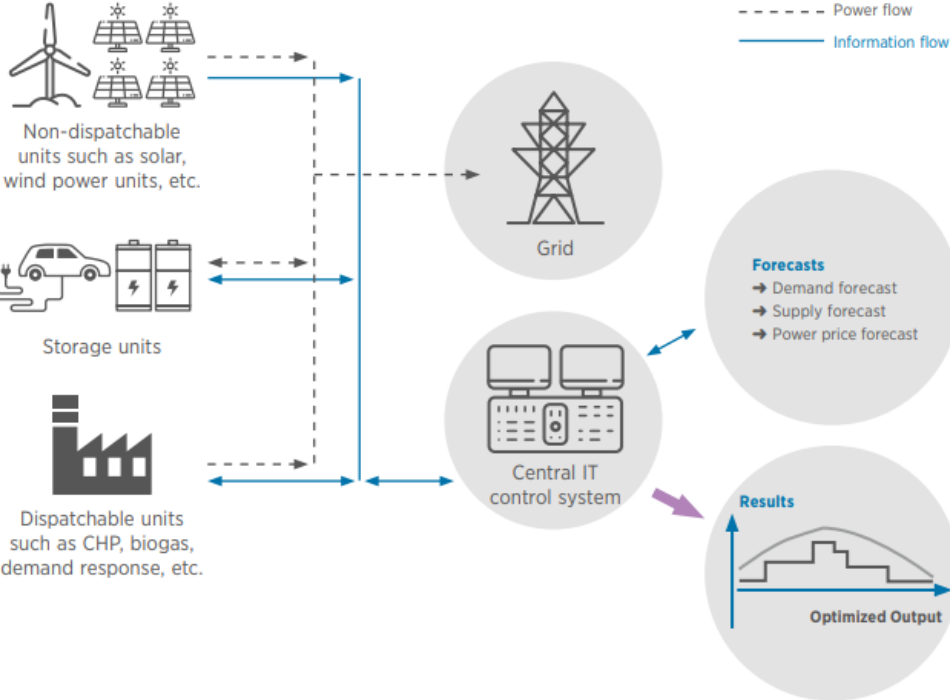
Microrredes



Virtual Power Plants



Agregadores de REDs



Fonte: <https://microgridknowledge.com/microgrid-defined/>
Irena

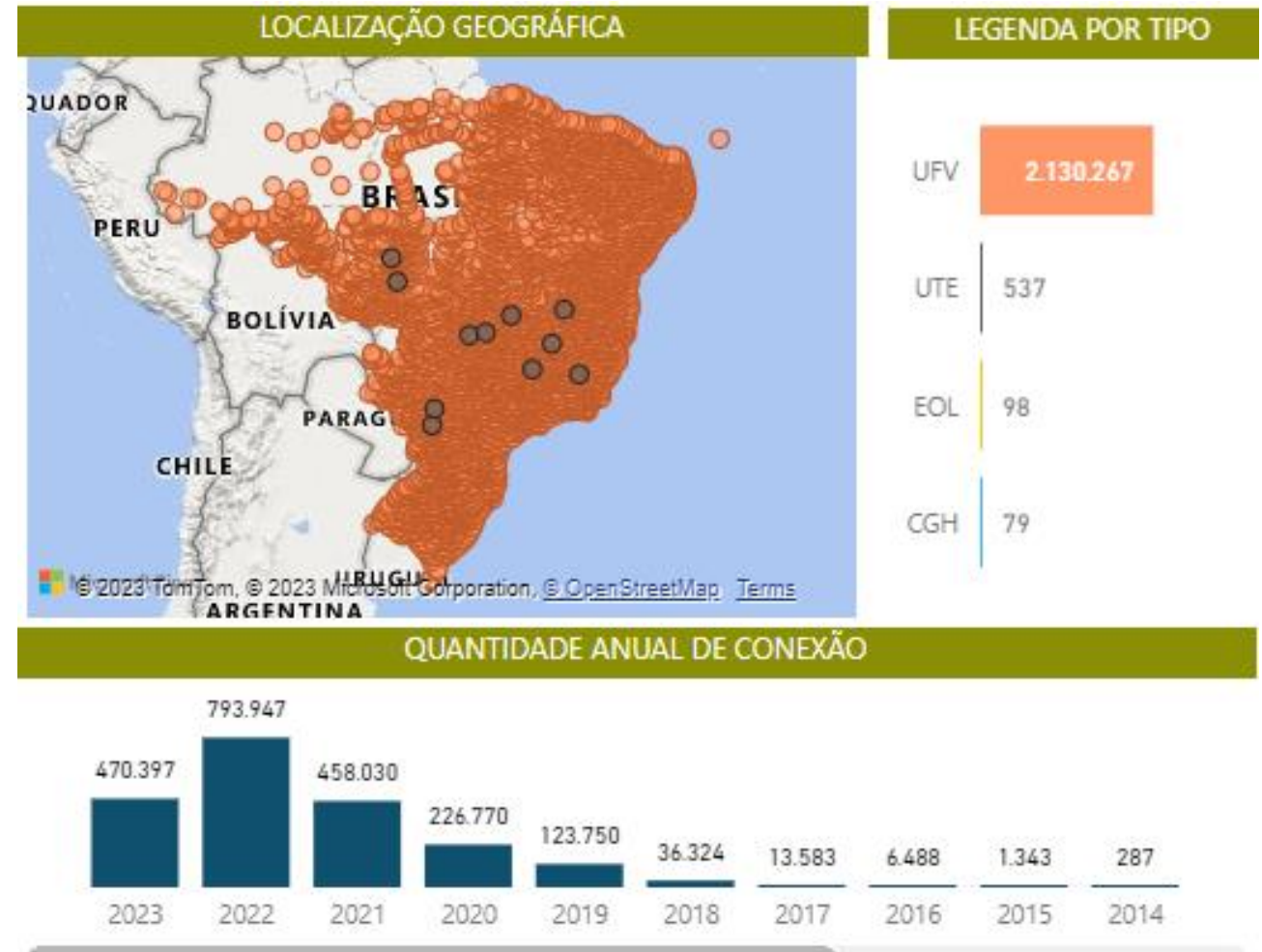
Recursos Energéticos Distribuídos no Brasil – Geração Distribuída

Mapa Dinâmico da Geração Distribuída - ANEEL

Acesso em: 30/09/23

Qtd de GDs	Municípios com GD
2.130.981	5.539
UCs Rec Créditos	Pot Instalada (kW)
3.119.066	23.873.736,91

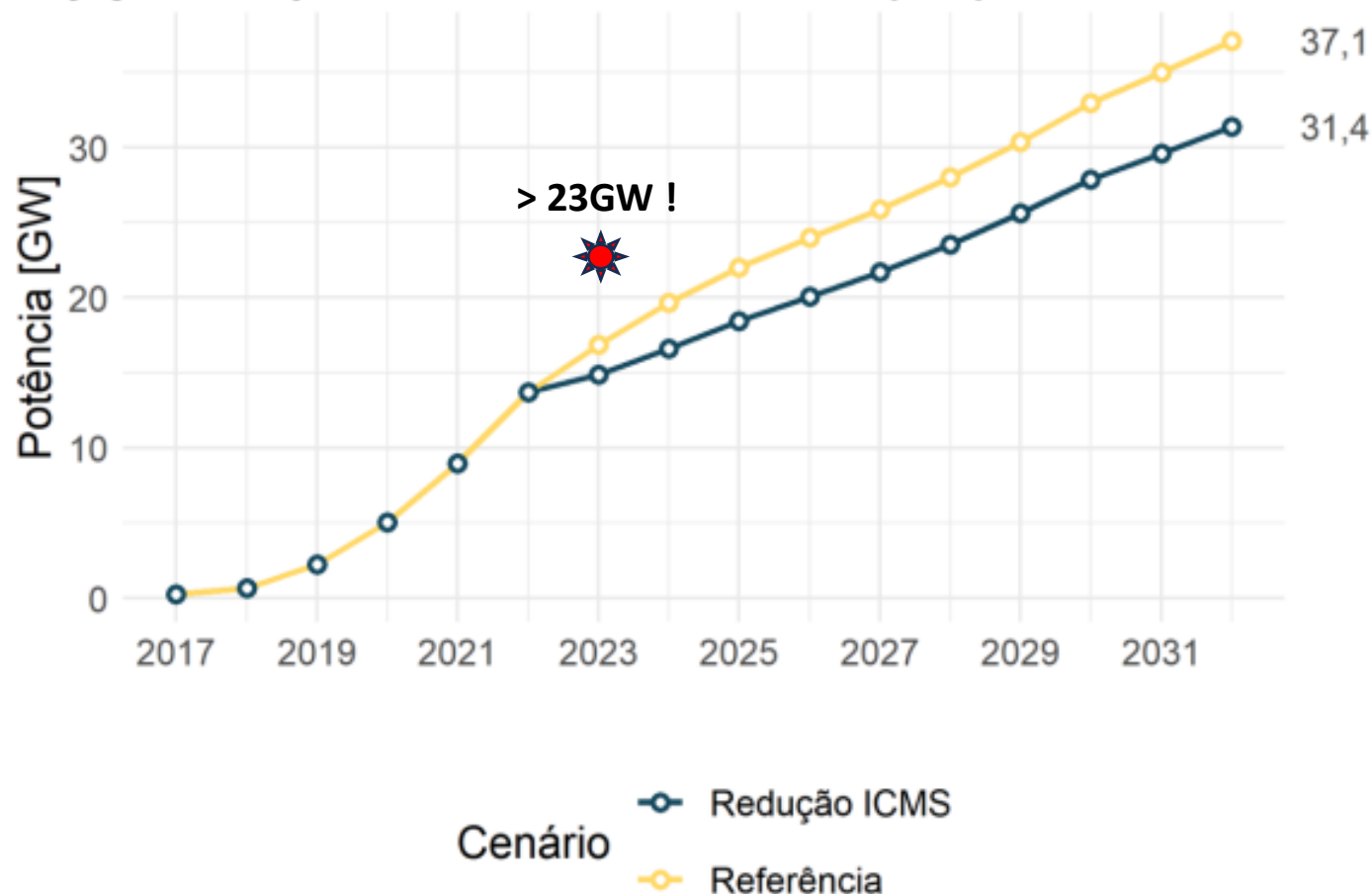
- 99,99% é GDFV
- Expansão expressiva após RN 687/2015
- > 23 GW instalados
- Tendência de expansão
- E os impactos na rede de distribuição?
- Novas oportunidades, novos negócios !?



Projeções do Crescimento de Geração Distribuída

Estudos do PDE 2023

Projeção da capacidade instalada de MMGD (GW)



Incertezas:

- ✓ **Sensibilidade à redução de ICMS nas tarifas de eletricidade**
 - ✓ Lei Complementar 194/2022, limitou a cobrança de ICMS à 17% ou 18% (a depender da UF) sobre a energia elétrica
- ✓ **Abertura do Mercado Livre (ML)**
 - ✓ PL 414, prevê a de abertura do mercado livre para todos os consumidores em até 42 meses a partir da publicação da lei
- ✓ **Tarifas Multipartes**
 - ✓ PL 414 também prevê que a tarifa pelo uso da rede de distribuição e transmissão (TUSD) não poderá ser cobrada volumetricamente (R\$/kWh)
- ✓ **Efeitos da Lei 14.300**
 - ✓ Mudança nas regras de compensação a partir de 2023,

Armazenamento de Energia por Baterias

Aplicações:

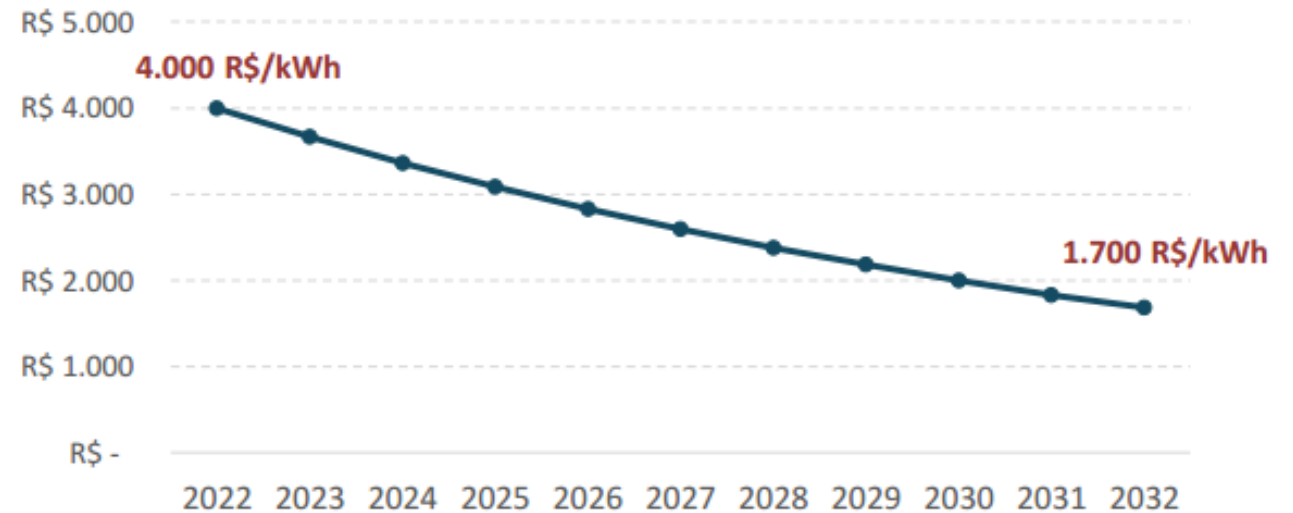
✓ Behind the Meter

- ✓ Backup e qualidade de energia
- ✓ Redução de Pico de Demanda
- ✓ Deslocamento (Gestão) de Consumo
- ✓ Aumento do Autoconsumo da MMGD

✓ Utility

- ✓ Suprimento em Situação de Contingência
- ✓ Regulação de Tensão
- ✓ Alívio de Carga
- ✓ Peak Shaving
- ✓ Load Leveling
- ✓ Mercado de Serviço Ancilar

Simulação de redução do preço de baterias no BR (R\$/kWh)



- ✓ queda no CAPEX de baterias de íon-lítio de 8,3% a.a. entre 2020 e 2030, que projetou 1.700 R\$/kWh em 2032
- ✓ Necessidade de desoneração de alguns tributos nacionais. Estima-se que atualmente **haja um aumento de 74% no preço final das baterias em função da incidência de tributos**

RED e a Agenda Regulatória

⌂ Tomada 011/2020

Objeto

Obter subsídios para a elaboração de propostas de adequações regulatórias necessárias à inserção de sistemas de armazenamento no setor elétrico brasileiro.

ATENÇÃO: o prazo final para envio de contribuições foi prorrogado para o dia 1º/3/2021.

1ª Fase	
Modalidade Intercâmbio Documental	Período de contribuição De 22/09/2020 a 01/03/2021

⌂ Tomada 011/2021

Objeto

Obter subsídios para a elaboração de propostas de modelos regulatórios para a inserção de recursos energéticos distribuídos, incluindo resposta da demanda, usinas virtuais e microrredes.

1ª Fase	
Modalidade Intercâmbio Documental	Período de contribuição De 24/06/2021 a 24/09/2021

Marco Regulatório da Geração Distribuída

LEI Nº 14.300, DE 6 DE JANEIRO DE 2022 - LEI Nº 14.300, DE 6 DE JANEIRO DE 2022 - DOU - Imprensa Nacional

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO

Publicado em: 07/01/2022 | Edição: 5 | Seção: 1 | Página: 4

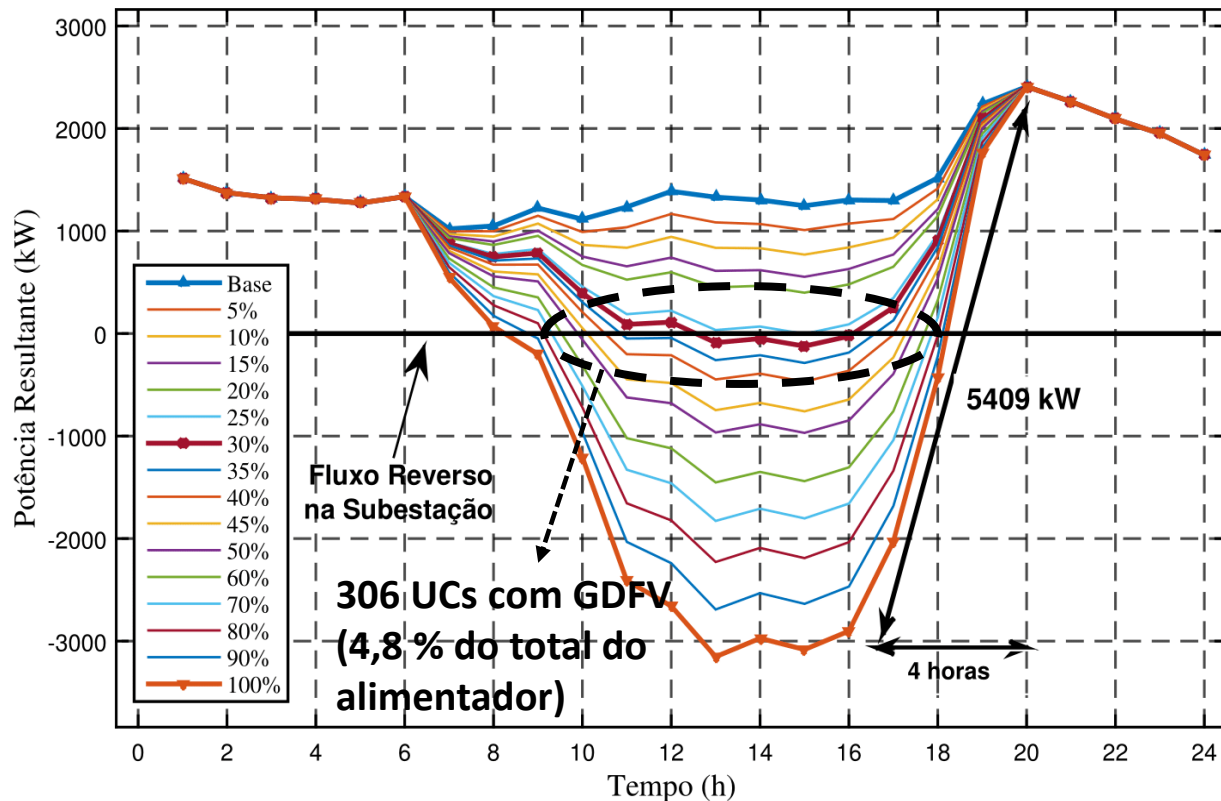
Órgão: Atos do Poder Legislativo

LEI Nº 14.300, DE 6 DE JANEIRO DE 2022

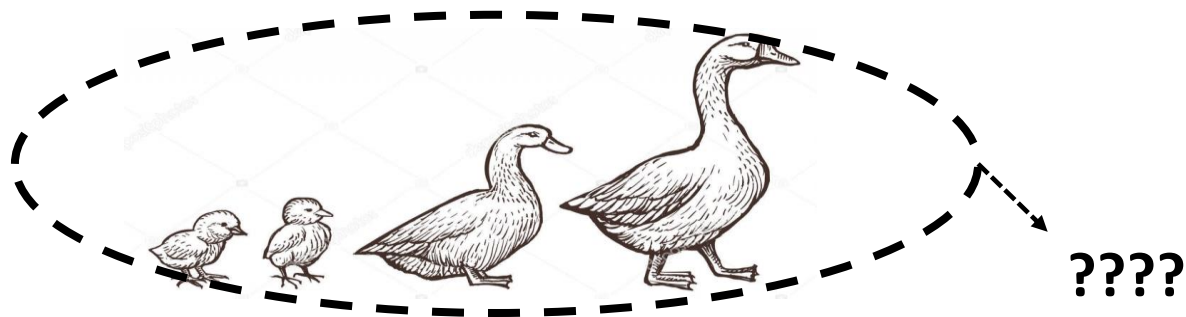
Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências.

Impactos de Recursos Energéticos Distribuídos

FLUXO REVERSO VISTO PELO ALIMENTADOR – “CURVA DO PATO”

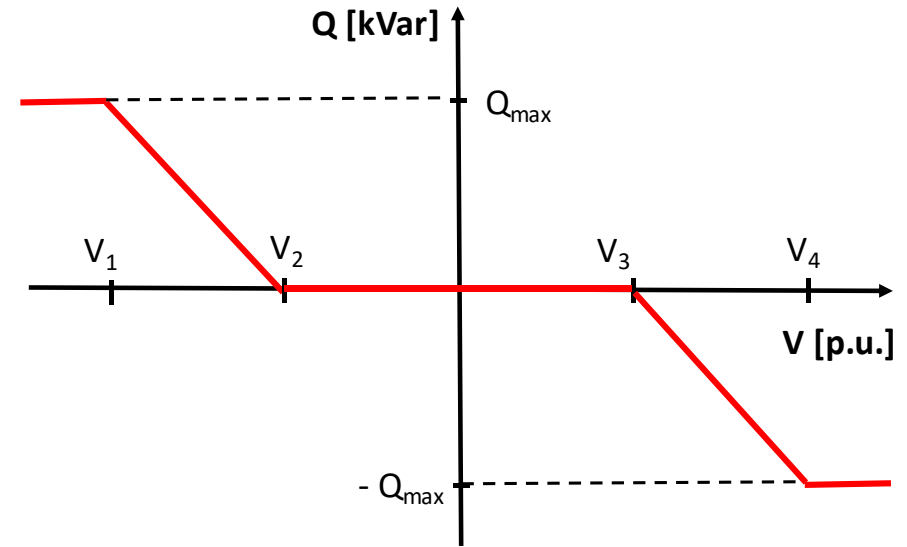
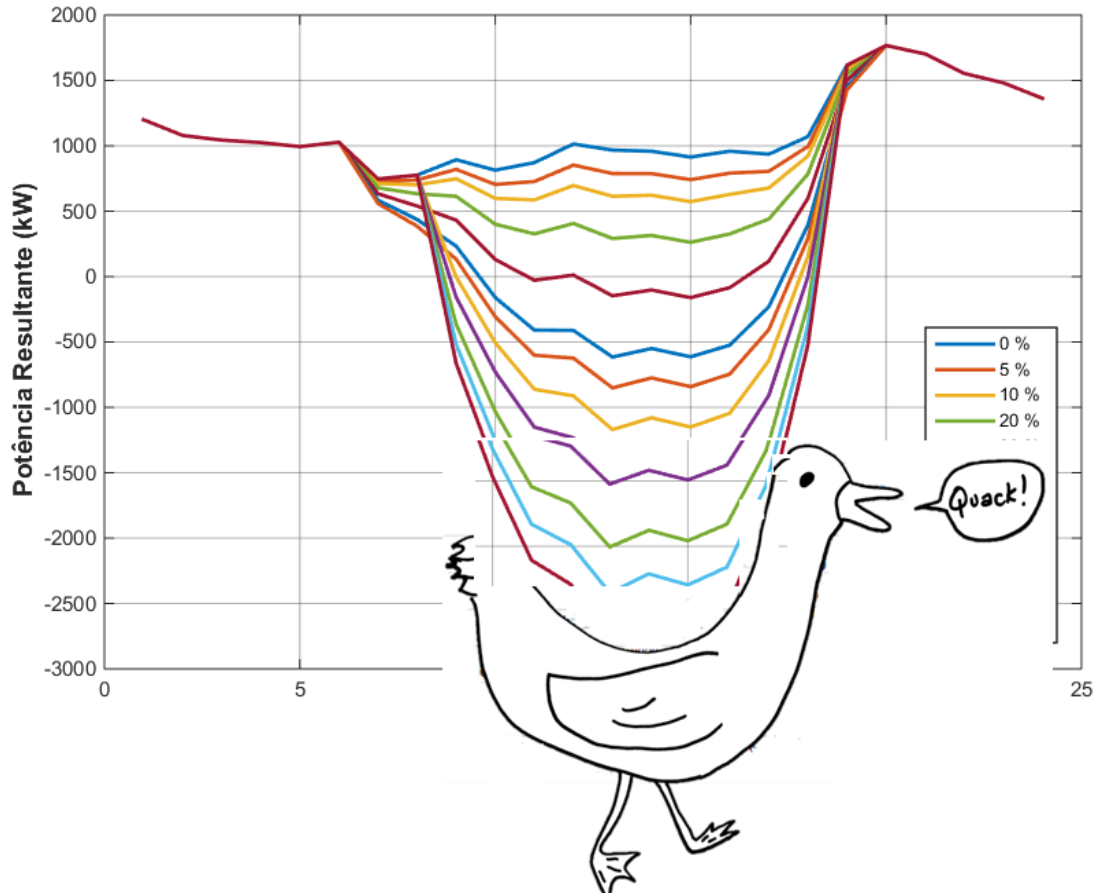


- ✓ O efeito mais esperado do aumento de GDFV nas redes secundárias é a redução da demanda proveniente do Fluxo Reverso.
- ✓ A “curva do pato” mostra o potencial de GDFV em fornecer mais energia do que a quantidade total demandada.
- ✓ De fato, a partir do cenário em que mais de **30%** dos consumidores situados na faixa entre **300 kWh** e **5000 kWh** de consumo médio mensal, toda a demanda do alimentador nas horas de sol forte, passa a ser atendida pela micro GDFV.
- ✓ Preocupação com o “**Efeito Rampa**” após o pôr do sol → Alta Demanda em um curto intervalo de tempo.
- ✓ Uso do Armazenamento...



Impactos de Recursos Energéticos Distribuídos

Controle Fluxo Reverso - Volt / Var



$$Q_{ref} = \left. \begin{cases} Q_{max}; & V_{med} < V_1 \\ \frac{Q_{max}}{V_1 - V_2} (V_{med} - V_1) + Q_{max}; & V_1 \leq V_{med} \leq V_2 \\ 0; & V_2 < V_{med} \leq V_3 \\ \frac{Q_{max}}{V_3 - V_4} (V_{med} - V_3); & V_3 < V_{med} \leq V_4 \\ -Q_{max}; & V_{med} > V_4 \end{cases} \right\}$$

Teaching the duck to fly  Sistemas de Armazenamento

DERMS – Distributed Energy Resource Management System

Por que DERMS ?

- ✓ Os sistemas SCADA atuais não abrangem de forma ampla, segura, confiável e acessível as operações de supervisão e controle da rede elétrica com múltiplos recursos energéticos distribuídos
 - ✓ **Segurança** – O aumento acelerado de REDs ameaça a estabilidade da rede
 - ✓ **Confiabilidade** – Os REDs podem ajudar a melhorar a confiabilidade da rede de distribuição
 - ✓ **Acessibilidade** – Atualizações tradicionais da rede de distribuição pode ser muito caras para integrar REDs

DERMS como ponte para novos paradigmas de operação da Rede !

Ecossistema DERMS

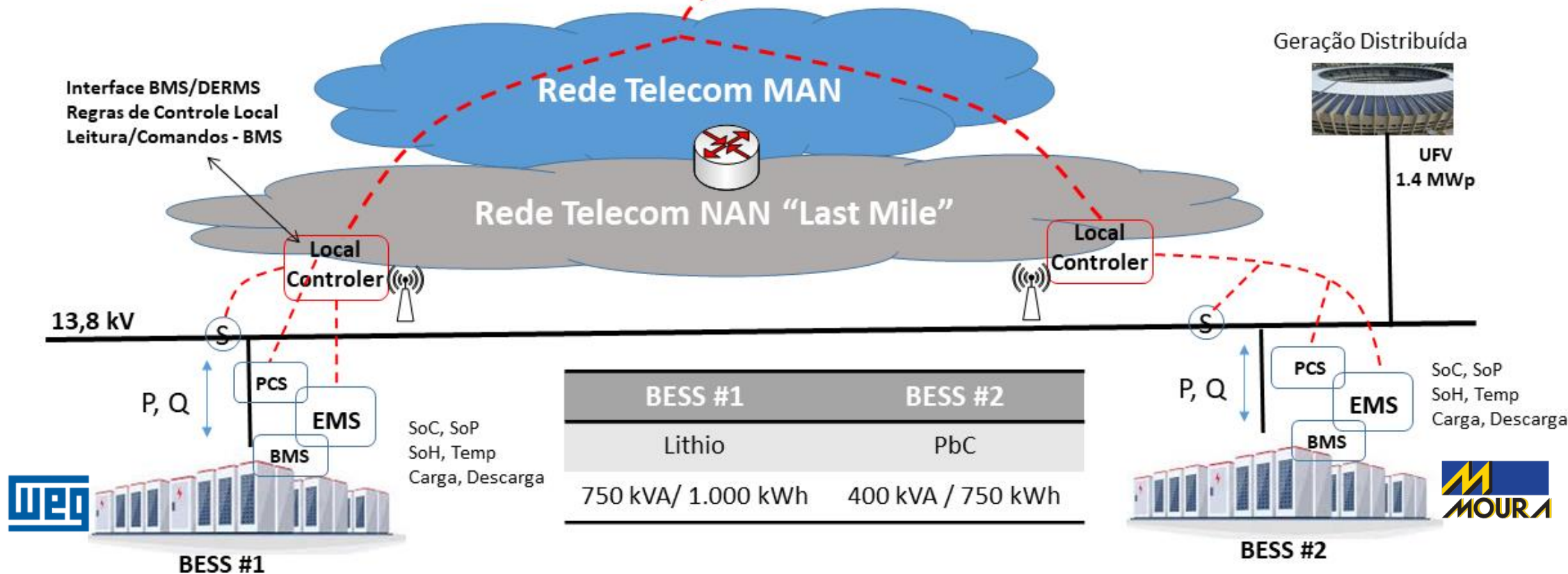
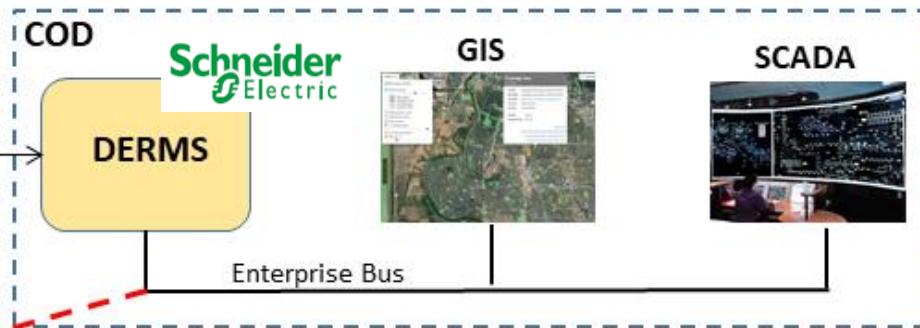


CASE SIGRED – Arquitetura Geral

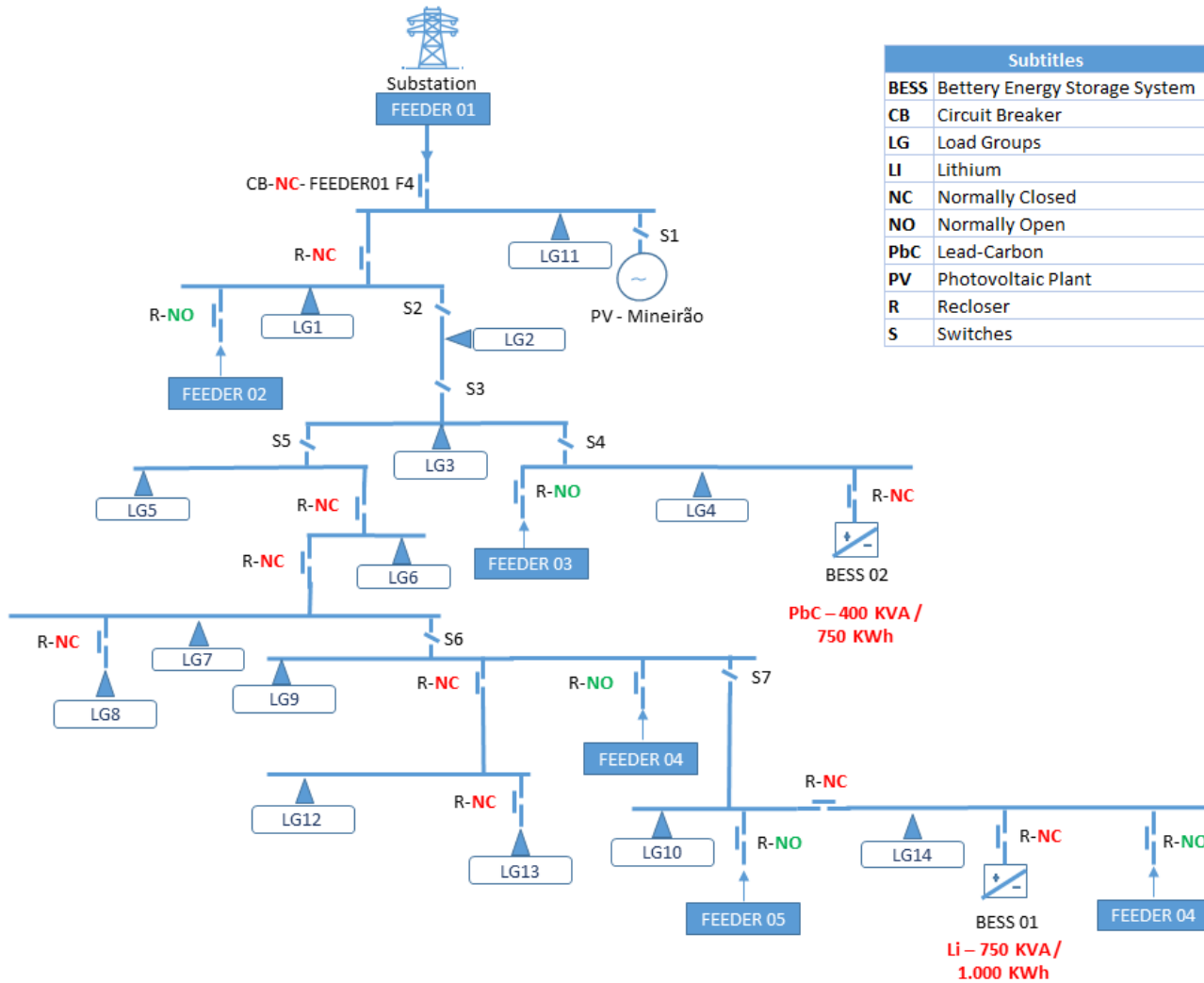


DERMS – Distributed Energy Resource Management System
EMS – Energy Management System
BMS – Battery Management System
PCS – Power Converter System
BESS – Battery Energy Storage System
S - Sensor

- Regras de Negócio:**
- ✓ Suprimento de Energia
 - ✓ Peak shaving
 - ✓ Load Leveling
 - ✓ Arbitragem
 - ✓ Serviço Ancilar (Reg. Tensão)
- Algoritmos de Despacho do BESS**



PLANTA DE APLICAÇÃO

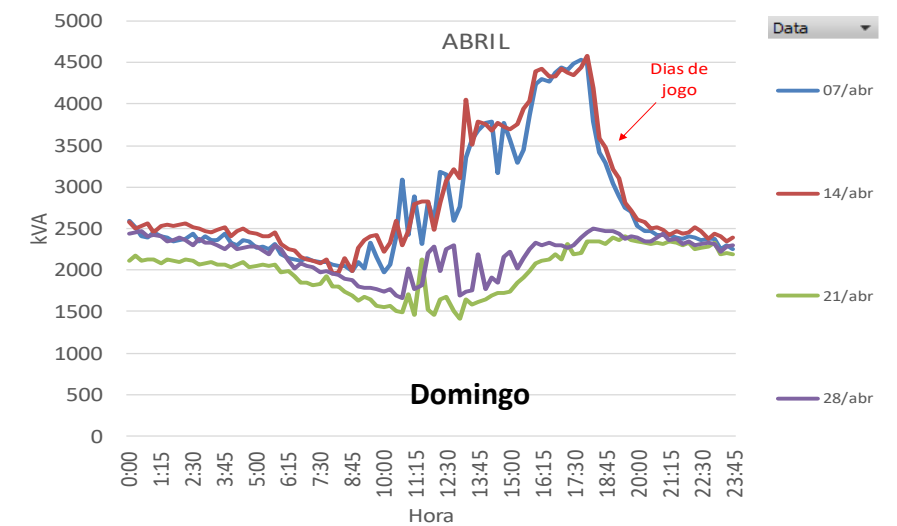
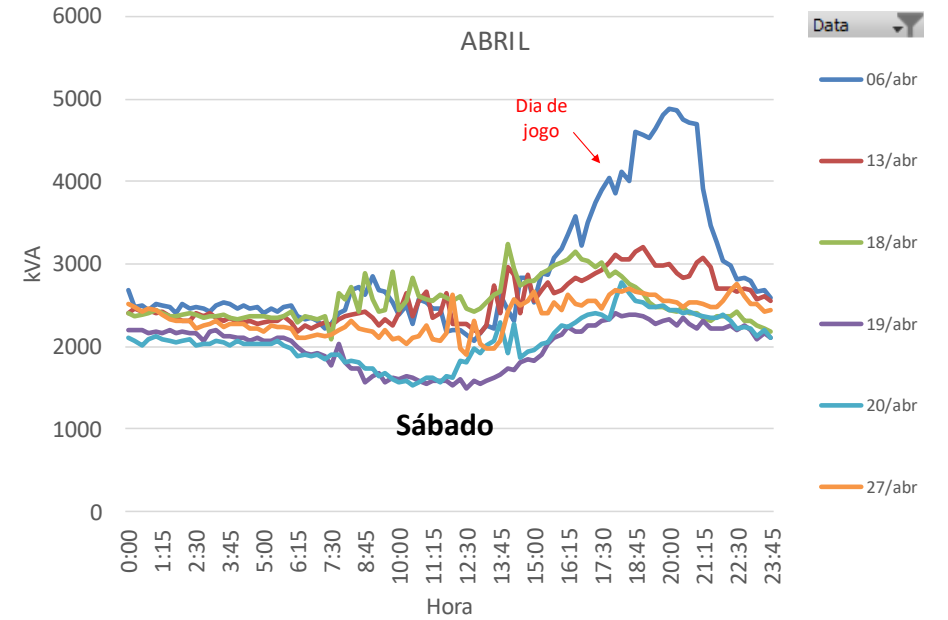
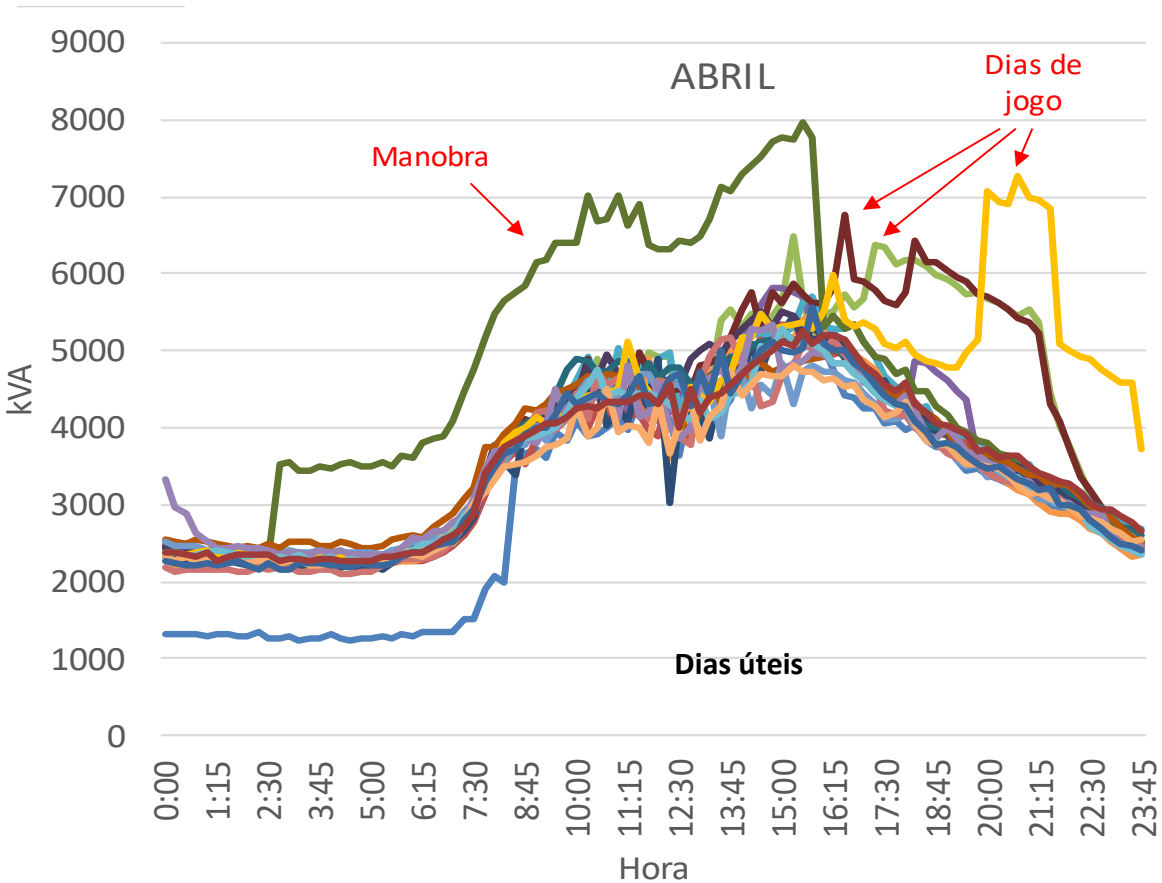


Subtitles	
BESS	Battery Energy Storage System
CB	Circuit Breaker
LG	Load Groups
LI	Lithium
NC	Normally Closed
NO	Normally Open
PbC	Lead-Carbon
PV	Photovoltaic Plant
R	Recloser
S	Switches

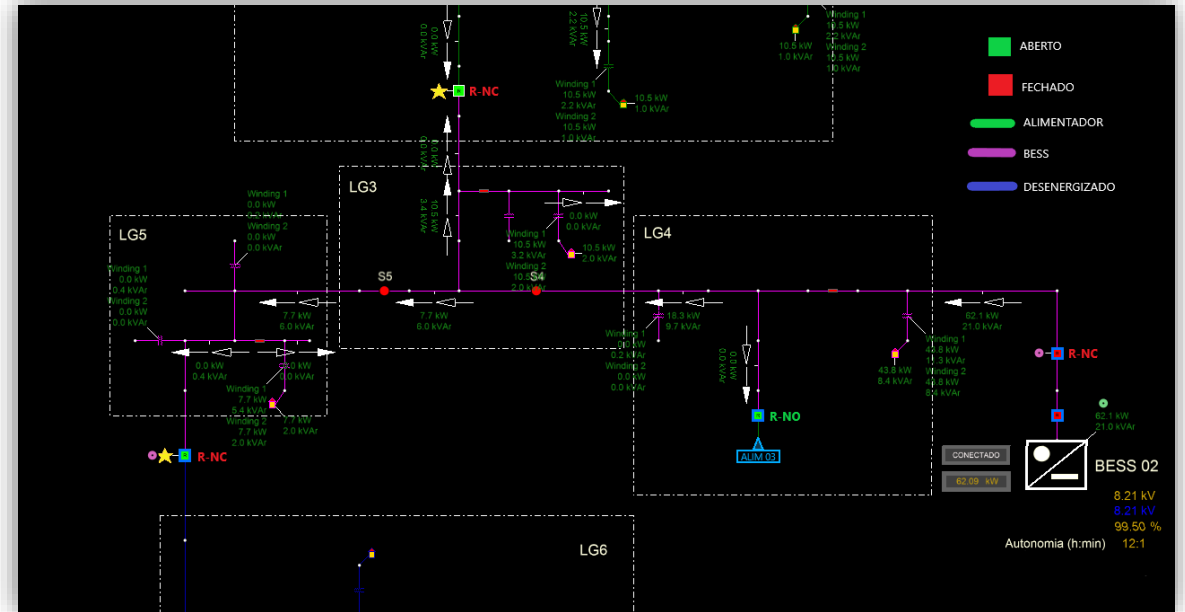
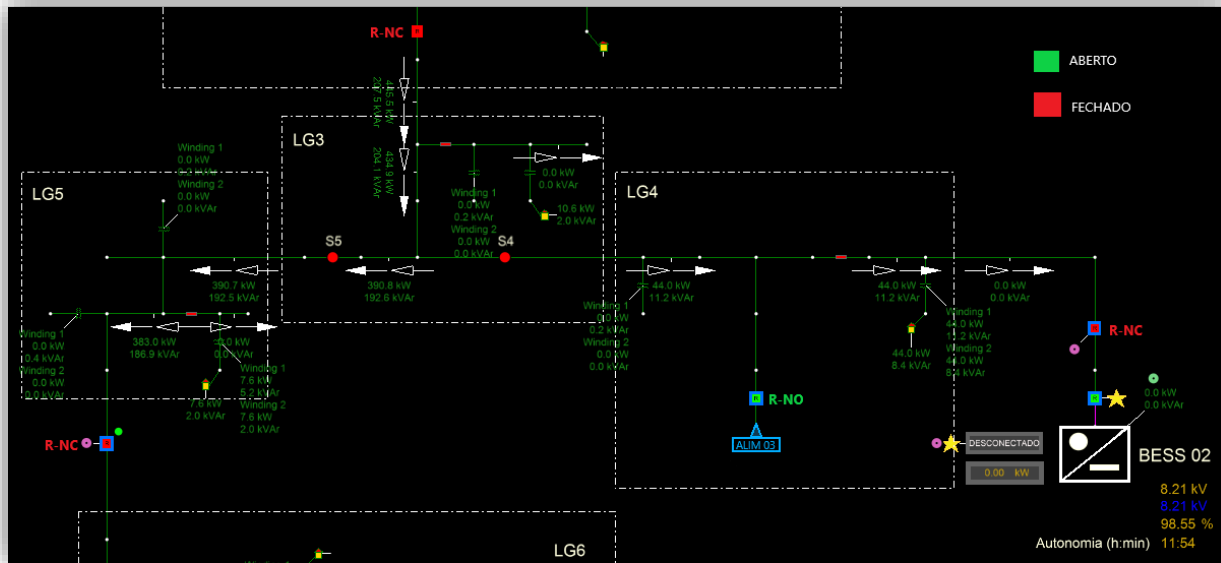
Characteristics	Mineirão PV	BESS 01- Li	BESS 02 - PbC
Power	1400 kVA	750 kVA	400 kVA
Energy	-	1000 kWh	750 kWh
Technology	Crystalline Silicon Photovoltaic Panel	Lithium (NMC or LFP)	Lead-Carbon (PbC)
Voltage Connection	276 V, 13.8 kV	13.8 kV	13.8 kV
Nominal frequency	60 Hz	60 Hz	60 Hz
Communication Protocol	DNP3	DNP3	DNP3



Curvas de Carga do Alimentador



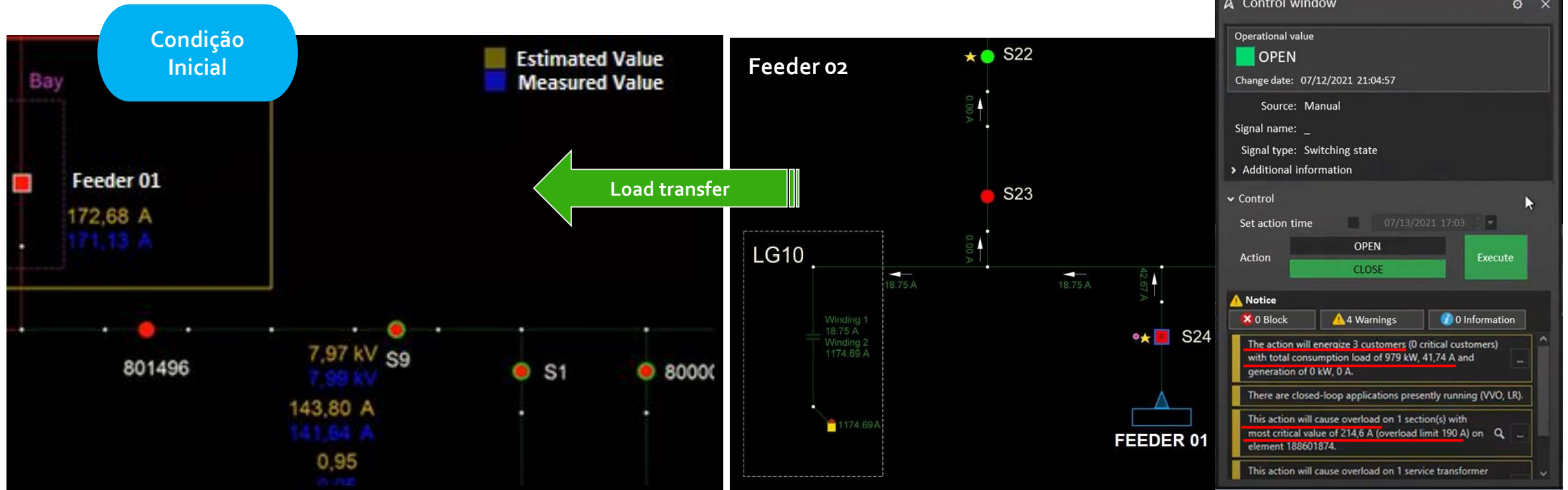
Estudo Caso #1 : Suprimento em Situação de Contingência



Casos de Ilhamento	RED	Nº de Consumidores Atendidos	Potência Ativa Despachada (kW)	Potência Reativa Despachada (kVAr)	Autonomia (hh:min)
Inical	BESS 01	09	111.3	53.8	08:36
	BESS 02	15	65.8	21.0	11:15
Estendido	BESS 01	25	149.4	90.6	06:25
	BESS 02	32	260.6	89.7	02:50

Estudo de Caso #2 : Alívio de Carga

Função Load Relief para suporte à Transferência de Carga



Corrente no Alimentador 01: **172,68 A**
Corrente Limite: **190 A** (condição normal)

Corrente no Alimentador 01 após a transferência de carga : **214.6 A. Condição de Sobrecorrente!!!**

Transferência de carga entre alimentadores: 974 kW / 41,74 A

Estudo de Caso #2 : Alívio de Carga em Transferência de Carga

Função *Load Relief*

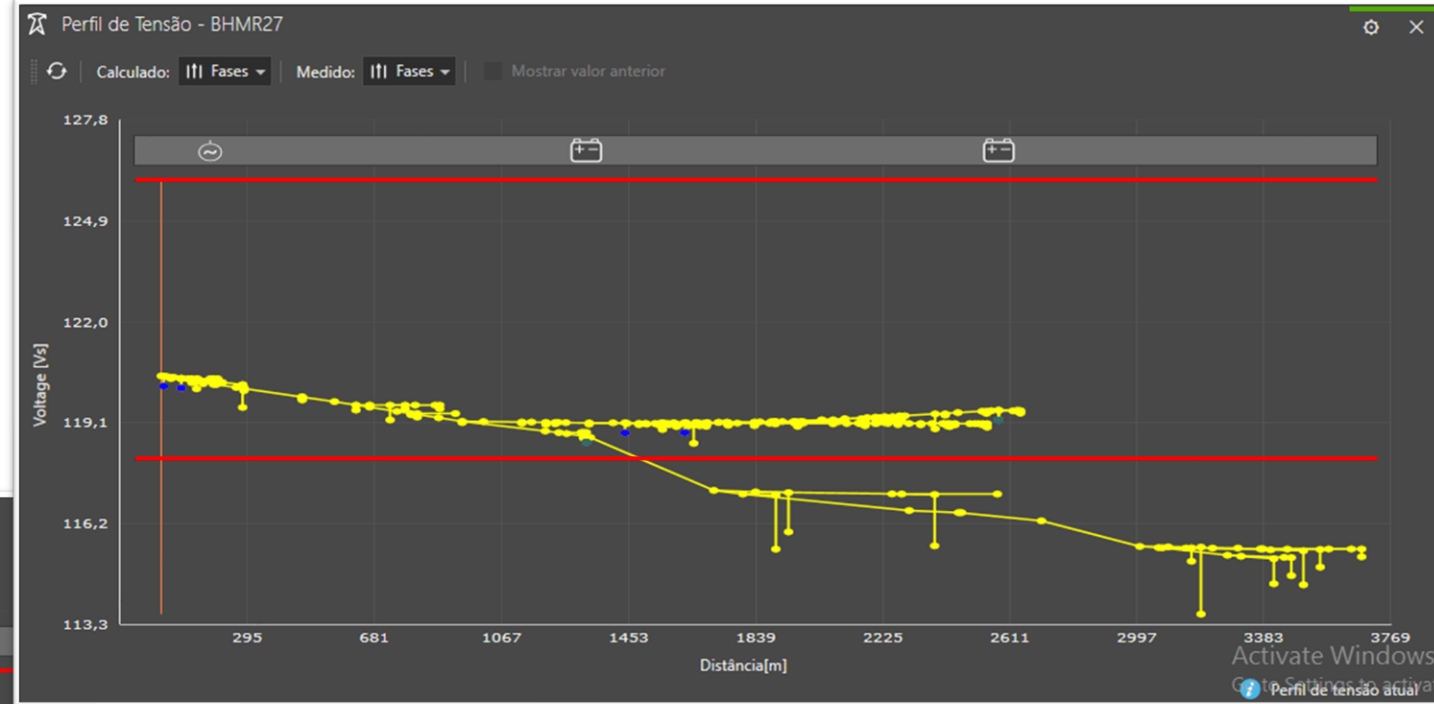
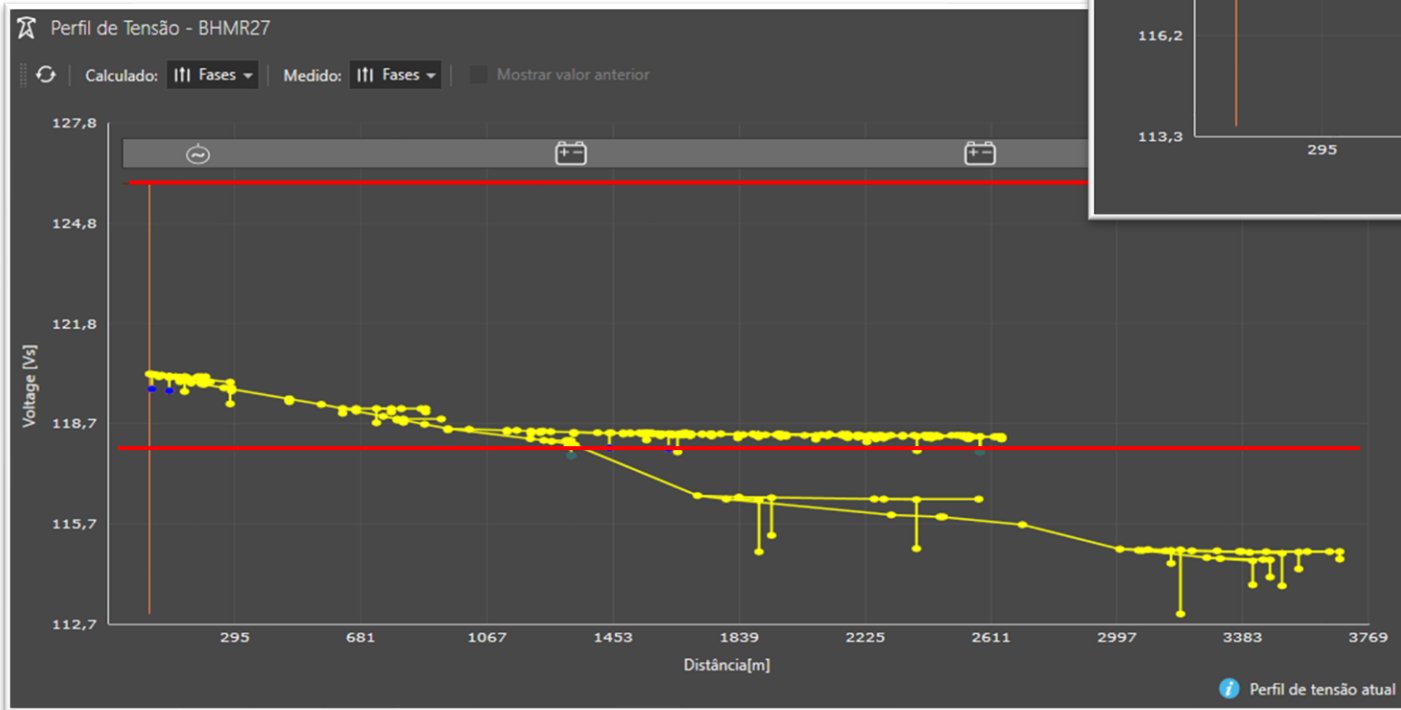
Cenário: Limite de 190 A na saída do alimentador	Alimentador Original (Feeder . 01)	Após transferência de cargas do Alimentador 02 (Feeder 01 -Overload)	Após ação de controle (Load Relief)
Corrente na Saída do Alimentador (A)	172	214.6	174.1
Despacho BESS 01 (kW)	-	-	750
Despacho BESS 02 (kW)	-	-	400

Estudo Caso #3 : Regulação de Tensão

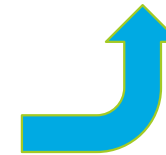
Variação de tensão - Aplicação Volt Var Watt Optimization (VVWO)

Regulação de Tensão

Perfil de Tensão pós transferência



Perfil de Tensão após ação VVWO



Estudo Caso #3 : Regulação de Tensão

Cenário: Faixa de Variação de Tensão Adequada $0,98 TR \leq TL \leq 1,05 TR$	Alimentador Original (ALIM. 01)	Após Transferência de Carga do (ALIM. 02)	Ação de Controle (Regulação de Tensão)
Pontos de Leitura Fora da Faixa Adequada (%)	0	290	50
Ponto aproximado de início das violações no alimentador (km)	0	1.3	1.7
Despacho BESS 01	-	-	373[kW] – 750[kVAr]
Despacho BESS 02	-	-	300[kW] – 500[kVAr]

REDs - Desafios e Oportunidades para Distribuidoras

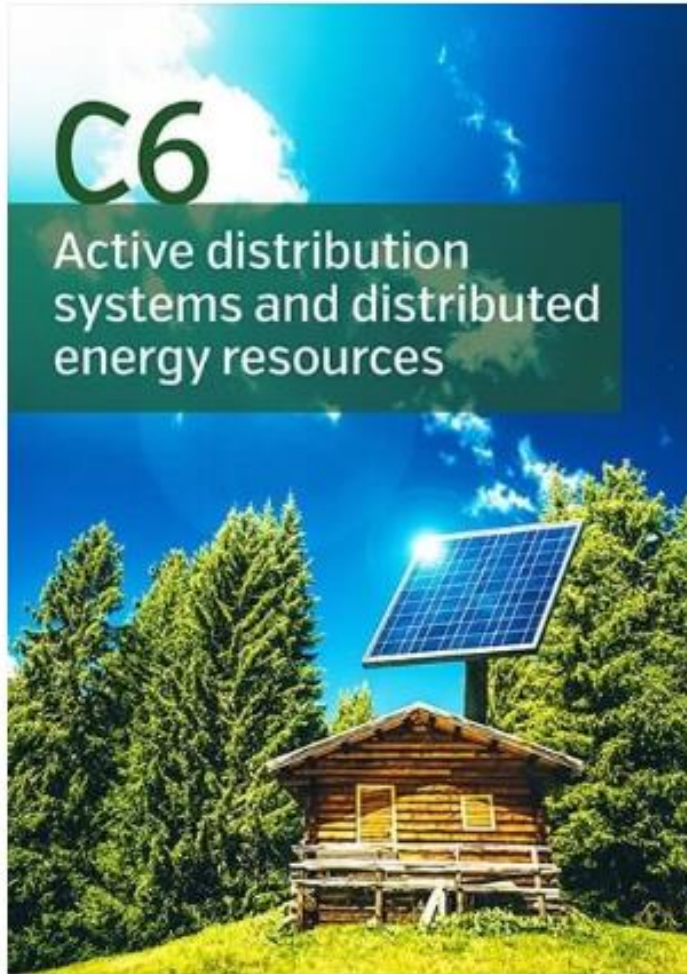
- ✓ **Impactos no Planejamento:** a inserção massiva de REDs traz maior incerteza sobre a demanda e a matriz energética futura, exigindo novas práticas de planejamento da expansão da rede: “**non-network options ou non-wires alternatives (NWA)**”
- ✓ **Impactos na Operação:** Segurança Operacional x Flexibilidade Operativa
Controle de Tensão, Fluxo Reverso de Potência, Perdas Técnicas, Filosofia de Proteção, Serviços Ancilares, Forecast de Carga x Geração,
- ✓ **Impactos Regulatórios:** Impactos nas Tarifas de energia, subsídios cruzados, programas de GLD, controle REDs de prosumidores pelas distribuidoras mediante acordos operativos
- ✓ **Novos Modelos de Negócios:** Mercado de Serviços Ancilares, Empresas Agregadoras de REDs, Microrredes, VPP

.

CIGRE e a Transição Energética

16 Grupos de Estudo



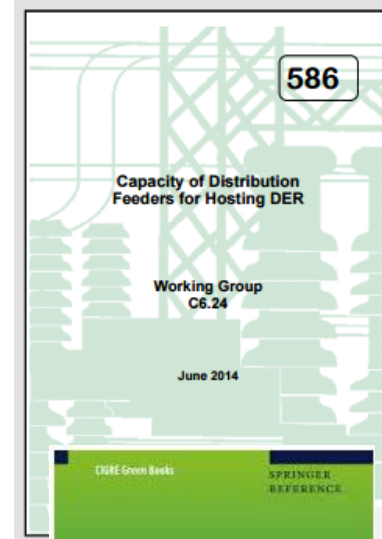


Áreas de Estudo

- ✓ Tecnologias facilitadoras para integração e aplicação de recursos de energia renovável e distribuída
- ✓ Soluções inovadoras para DER e implantação de tecnologia de distribuição
- ✓ Armazenamento de Energia
- ✓ Mobilidade Elétrica
- ✓ Integração e participação pelo lado da demanda
- ✓ Cidades Inteligentes
- ✓ Eletrificação rural
- ✓ Integração e empoderamento do consumidor

CIGRE CE-C6 - Working Groups, Eventos, Publicações

WG #	Start Year	Title
JWG C6/C2.34	2018	Flexibility provision from distributed energy resources
C6.35	2018	Distributed energy resources aggregation platforms for the provision of flexibility services
C6.36	2019	Distributed Energy Resource Models for Impact Assessment
JWG C6/B4.37	2018	Medium Voltage DC distribution systems
C6.39	2018	Distribution Customer Empowerment
C6.40	2019	Electric Vehicles as Distributed Energy Resource (DER) systems
C6.41	2020	Technologies for Electrical Railway Distribution Supply Systems
C6.42	2020	Electric Transportation Energy Supply Systems
C4.43	2020	Aggregation of battery energy storage and distributed energy resources (DER), including solar PV
JWG C1/C6.42	2018	Planning tools and methods for systems facing high levels of distributed energy resources
JWG C1/C6.37/ CIRED	2017	Optimal transmission and distribution investment decisions under increasing energy scenario uncertainty
C6.44	2020	Nodal Value of Distributed Renewable Energy Generation
C6.45	2022	The Impact of DER on the Resilience of Distribution Networks
JWG D2/C6.47	2018	Advanced Consumer Side Energy Resource Management Systems
JWG C5/C6.29	2018	New Electricity Markets, Local Energy Communities
JWG C5.31	2019	Wholesale and Retail Cost Impact of Flexible Demand Response



Technical Brochures
**Distributed Energy Resource
 Benchmark Models for...**



Technical Brochures
Rural electrification



**Ref.: 835
 2021**

Technical Brochures
**Multi-energy System
 Interactions in Distribution...**



**Ref.: 863
 2022**



Seja um membro do CE-C6 !



<https://cigre.org.br/>

Obrigado !



Leonardo Leite, Dr.

FITec – Fundação para Inovações Tecnológicas
Senior Systems Engineering

Homepage: <http://leonardoleite.eng.br/>

✉ lleite@fitec.org.br | [leonardohenriquemeloleite](https://www.linkedin.com/in/leonardo-leite-8a05b616/)

<https://www.linkedin.com/in/leonardo-leite-8a05b616/>

☎ +55(31) – 3069-4000

☎ +55(31) – 98851-4215

