UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

LaPSEE
Laboratório de Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica

DEFESA DE DOUTORADO

Integração de Veículos Elétricos no Planejamento da Expansão dos Sistemas de Distribuição

Aluna: Maria Nataly Bañol Arias

Orientador: Prof. Dr. John Fredy Franco B.

Departamento de Engenharia Elétrica

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Ilha Solteira, 15 de Fevereiro de 2019

Sumário

1. Introdução
2. Objetivos e contribuições
3. Planejamento da expansão do SDE considerando alocação e dimensionamento de Estações de Carregamento de VEs (ECVEs)
4. Modelo Matemático
5. Testes e Resultados
6. Conclusões e trabalhos futuros
7. Trabalhos correlatos

Introdução

- Sistemas elétricos em constante evolução devido à integração de novas tecnologias.

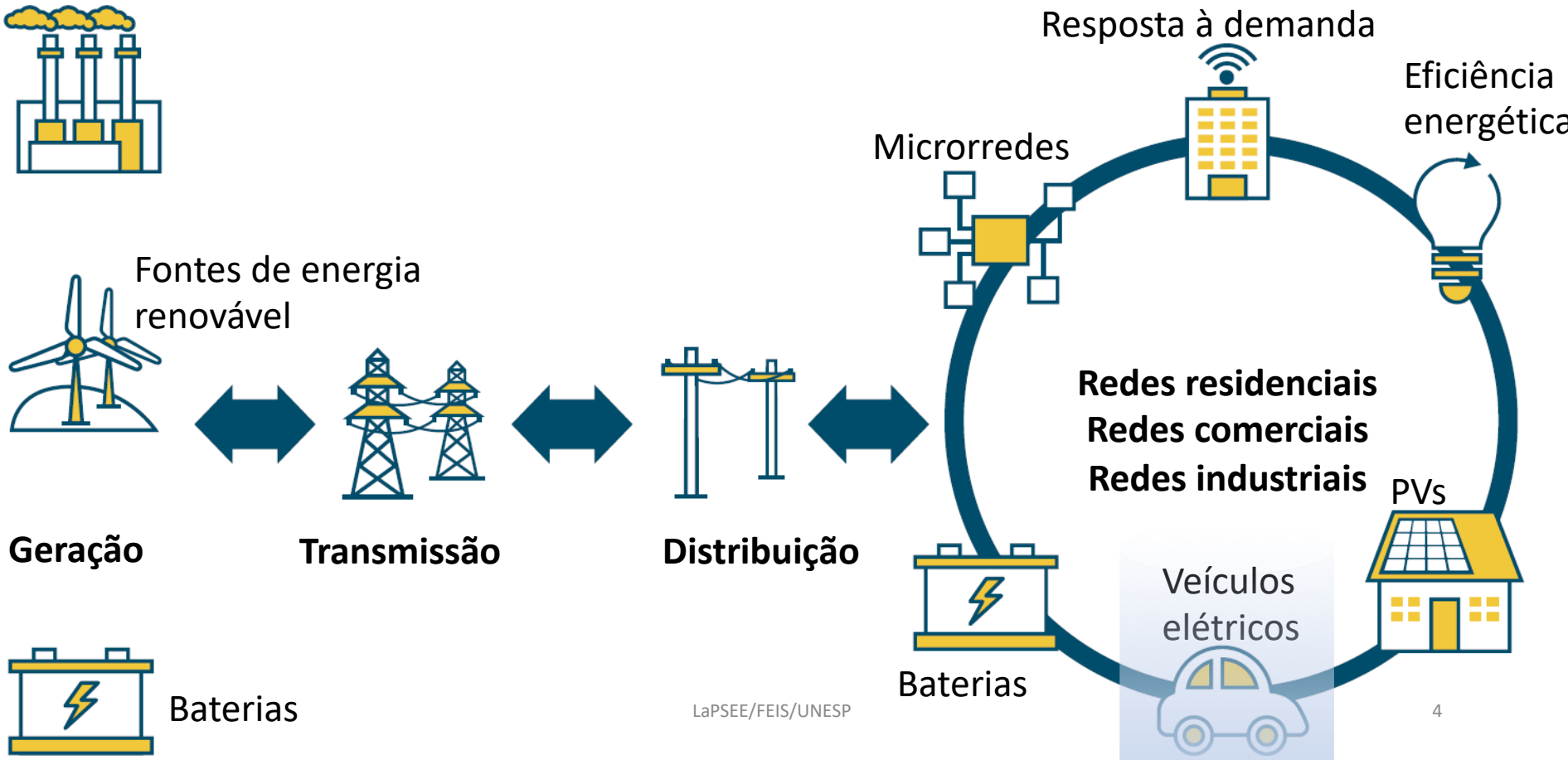
- Mudanças na forma tradicional em que são operados os sistemas.



Fonte: Adaptado de DOE, Quadrennial Energy Review Report: An Integrated Study of the U.S. Electricity System, January 2017

Introdução

Sistemas de distribuição devem adaptar-se à participação de novos REDs.



Fonte: Adaptado de DOE, Quadrennial Energy Review Report: An Integrated Study of the U.S. Electricity System, January 2017

Introdução



Qualquer veículo que usa um motor elétrico para sua propulsão.



Formas de carregamento

- Áreas residenciais
- Áreas comerciais, industriais
- Estações de carregamento público



Introdução



Qualquer veículo que usa um motor elétrico para sua propulsão.

- Elevação dos picos de carga
- Operação fora dos limites técnicos aceitáveis
- Incremento das perdas de energia
- Diminuição da qualidade do serviço

Consideração da incerteza

Reforços na rede: Planejamento da expansão do SDE

Coordenação do carregamento de VEs: Planejamento da operação do SDE

Objetivos e contribuições

OBJETIVO DO TRABALHO

Desenvolver **modelos matemáticos** que permitam a integração em grande escala de VEs no planejamento da expansão do SDE.

- Modelagem do problema de planejamento **multi-estágio** da expansão dos SDE (PESDM) considerando a incorporação de unidades de **GD**, **BCs** e **ECVEs**.

- Representação do carregamento dos VEs em zonas **residenciais** e representação da **operação das ECVEs** dentro do problema de PESDM.

Objetivos e contribuições

OBJETIVO DO TRABALHO

Desenvolver **modelos matemáticos** que permitam a integração em grande escala de VEs no planejamento da expansão do SDE.

- Modelagem **robusta** do problema de PESDM e as ECVEs considerando as **incertezas** associadas à demanda convencional e dos VEs através de **restrições probabilísticas.**

- Análise do **impacto da integração dos VEs** nos sistemas de distribuição considerando o **lugar de conexão dos VEs** e análise da importância de considerar as **incertezas** associadas às demandas na expansão da rede.

Objetivos e contribuições

CONTRIBUIÇÕES

- Um **modelo de PLIM** para resolver o problema de PESDM considerando ações tradicionais de planejamento, alocação e operação de unidades de GD e BCs, e **alocação e dimensionamento de ECVEs**.

- Uma **modelagem matemática** para representar a demanda associada aos VEs dentro do PESDM.

- Um **modelo de programação robusta** baseado em restrições probabilísticas que considera o comportamento estocástico das demandas convencionais e dos VEs no problema de PESDM.

- Uma **nova análise da integração dos VEs** nos SDEs.

Planejamento da expansão do sistema de distribuição de energia elétrica

O problema de planejamento da expansão do sistema de distribuição de energia elétrica (PESD)

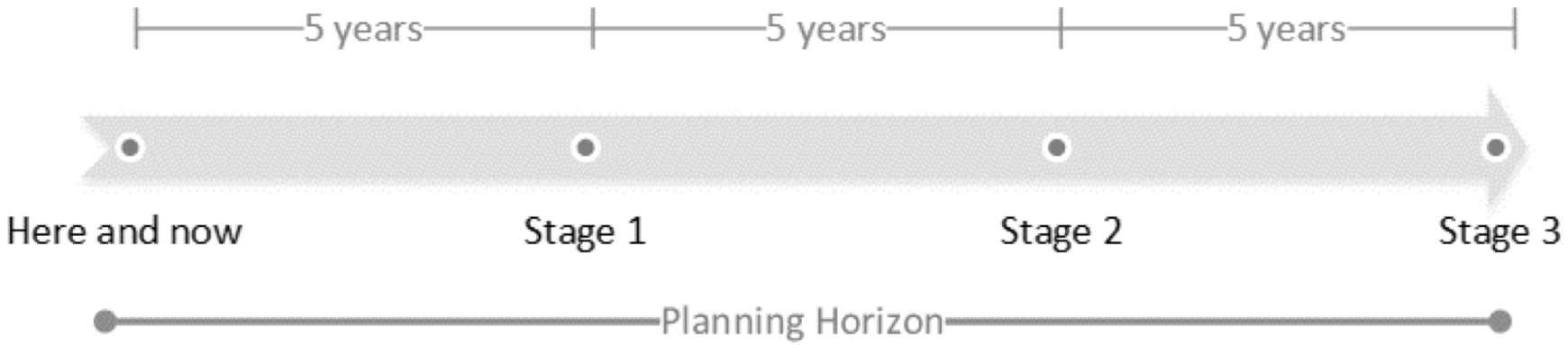
- **Objetivo do problema de PESD**
  - Determinar o plano de expansão visando atender as demandas de energia futura.

- **Características do problema de PESD**
  - Estático (PESDE)
  - Dinâmico (PESDM)

Planejamento da expansão do sistema de distribuição de energia elétrica

O problema de planejamento **multi-estágio** da expansão do sistema de distribuição de energia elétrica (**PESDM**)

Onde, quais, e quando ao longo do horizonte de planejamento?



PESDM considerando ECVEs

Desafios:

- Crescimento da demanda e penetração de VEs **desconhecida**.
- Representação do processo de carregamento dentro do problema de PESDM altamente **complexa**.

Soluções:

- Usar informações estatísticas.
- Fazer simplificações.

PESDM considerando ECVEs

Supostos

- A potência correspondente às ECVEs é demandada em um dia típico, durante um período de tempo específico.
- Assume-se que não todos os VEs chegam à ECVE ao mesmo tempo.
- Assume um fator conjunto que representa o estado de carga (SOC) das baterias dos VEs.

PESDM considerando ECVEs

Considerações

- As ECVEs são **propriedade** da concessionária.
- Os VEs podem ser carregados usando **dois tipos** de carregadores (rápidos e lentos).
- Uma parcela dos VEs é carregada em **ECVEs** e a outra parcela é carregada nas **residências.**

Modelo matemático

O problema de PESDM foi modelado inicialmente como um problema de PNLIM. Depois de aplicar técnicas de linearização, foi obtido um problema de PLIM. A solução do modelo determina:

- Construção e/ou reforço de subestações;
- Construção e/ou recondutoramento de circuitos;
- Alocação de BCs;
- Alocação de unidades de GDs;
- Reconfiguração da rede;
- **Alocação e dimensionamento de ECVEs.**

Modelo matemático

$$\min \frac{1}{(1+\tau)^{-(u-1)K}} \sum_{u} \left(IS_u + IC_u + IBC_u + IGD_u + IECV_u + CE_u + COS_u \right) \quad (1)$$

Custos de investimento

Custos de operação

$$IECV_u = \sum_{p} \sum_{e} \left(c^{cs} x^{cs}_{p,u} + c^{c}_{e} n^{chi}_{p,e,u} \right) \forall u \in U \quad (2)$$

Função objetivo:

- Custo de construção e/ou reforço de subestações;
- Custo de construção e/ou recondutoramento de circuitos;
- Custo de instalação de BCs;
- Custo de instalação de GDs ;
- Custo de instalação de ECVEs;
- Custo da energia fornecida pela subestação e pelas unidades de GD;
- Custo de operação das subestações, o qual inclui o custo das perdas de energia nos circuitos.

Modelo matemático

Restrições:

- Restrições de **estado em regime permanente** dos SDE que representam as leis de Kirchhoff;

- Restrições **operacionais do sistema** como são limites de tensão, capacidade de corrente nos alimentadores, operação dos BCs e das fontes de GD;

- Restrições **lógicas** que permitem a coordenação entre os investimentos e a operação do sistema;

- Restrições associadas à **alocação e dimensionamento** das ECVEs.

Modelo matemático

3. Balanço de potência ativa

$$\sum_{kj}\sum_{a} P_{kj,a,u} - \sum_{ij}\sum_{a}(P_{ij,a,u} + R_a l_{ij} I^{sqr}_{ij,a,u}) + P^{S}_{i,u} + \sum_{g} P^{DG}_{i,g,u} = P^{D}_{i,u} + \sum_{e} n^{cho}_{i,e,u} P^{ch}_{e}$$

$$\forall i \in N, \quad \forall u \in U$$

4. Alocação das ECVEs

$$\sum_{u} x^{cs}_{p,u} \leq 1 \qquad \forall p \in P$$

5.Máximo número de carregadores

$$\sum_{e}\sum_{k=1}^{u} n^{chi}_{p,e,k} \leq \bar{C}_p \sum_{k=1}^{u} x^{cs}_{p,k} \qquad \forall p \in P, \quad \forall u \in U$$

Modelo matemático

6. Operação dos carregadores

$$n^{cho}_{p,e,u} \leq \sum_{k=1}^{u} n^{chi}_{p,e,k} \qquad \forall p \in P, \quad \forall e \in E, \quad \forall u \in U$$

7. Penetração de VEs

$$\sum_{e} n^{ev}_{e,v,u} = N^{EV}_{v,u} + \phi(\varepsilon)\sigma^{EV}_{v,u} \qquad \forall v \in V, \quad \forall u \in U$$

8. Requerimento de energia dos VEs

$$\sum_{p} P^{ch}_{e} n^{cho}_{p,e,u} dw^{cs} \geq \sum_{v} n^{ev}_{e,v,u} E^{req}_{v} (\phi^{\max}_{soc} - \phi_{soc}) \qquad \forall e \in E, \quad \forall u \in U$$

Modelagem Robusta

- **Parâmetros desconhecidos:** Demanda futura durante o horizonte de planejamento.
- Taxa de crescimento da demanda e a penetração dos VEs.
- Várias técnicas que permitem considerar incertezas.
- Programação com **restrições probabilísticas**.

$$\mathrm{P}\left\{h(x,\xi) \geq 0\right\} \geq p \qquad (9)$$

Modelagem Robusta

Restrições probabilísticas para a capacidade da subestação:

Restrição não linear

$$Prob\left\{ \mathbf{S}_{s,u} \le \sum_{t} \overline{S}_t y_{s,t,u}^{sub} \right\} \ge 1-\varepsilon \quad \forall s \in SE, \forall u \in U \qquad (10)$$

Equivalente linear determinístico

$$S_{s,u} + \phi(\varepsilon)\sigma_{s,u} \le \sum_{t} \overline{S}_t y_{s,t,u}^{sub} \quad \forall s \in SE, \forall u \in U \qquad (11)$$

Valor médio

Desvio padrão

Modelagem Robusta

Restrições probabilísticas para a capacidade da subestação:

Outros desafios

- Relação entre os parâmetros incertos e a potência aparente das subestações

$$S_{s,u} = \sqrt{P_{s,u}^2 + Q_{s,u}^2}$$

- Cálculo do valor médio e do desvio padrão da variável altamente complexo.

$$S_{s,u} + \phi(\varepsilon)\sigma_{s,u} \leq \sum_t \bar{S}_t y_{s,t,u}^{sub}$$

- Simplificações

Modelagem Robusta

Restrições probabilísticas para a capacidade da subestação:

Outros desafios

$$S_{s,u} = \sum_i \omega_{s,i,u}^{sub} \left[(1 + \%P^{loss}) P_{i,u}^{D} + \sum_e n_{i,e,u}^{cho} P_e^{ch} - \sum_g P_{i,g,u}^{DG} \right] \phi_{pf}^{-1} \quad (12)$$

$$S_{s,u} = \sum_i \omega_{s,i,u}^{sub} \left[(1 + \%P^{loss}) P_{i,u}^{D} + \sum_e n_{i,e,u}^{cho} P_e^{ch} - \sum_g P_{i,g,u}^{DG} \right] \phi_{pf}^{-1} \quad (13)$$

$$\sigma_{s,u}^2 = \left[(1+\%Ploss) \phi_{pf}^{-1} \right]^2 \sum_i \sigma_{i,u}^{D\,2} \omega_{s,i,u}^{sub} \quad (14)$$

$$\forall s \in SE, \forall u \in U$$

Modelagem Robusta

Restrições probabilísticas para a capacidade da subestação:

Outros desafios

- Identificação dos nós de demanda atendidos por cada subestação: Adição de um novo conjunto de equações para encontrar o caminho mais curto entre cada nó e sua fonte correspondente.

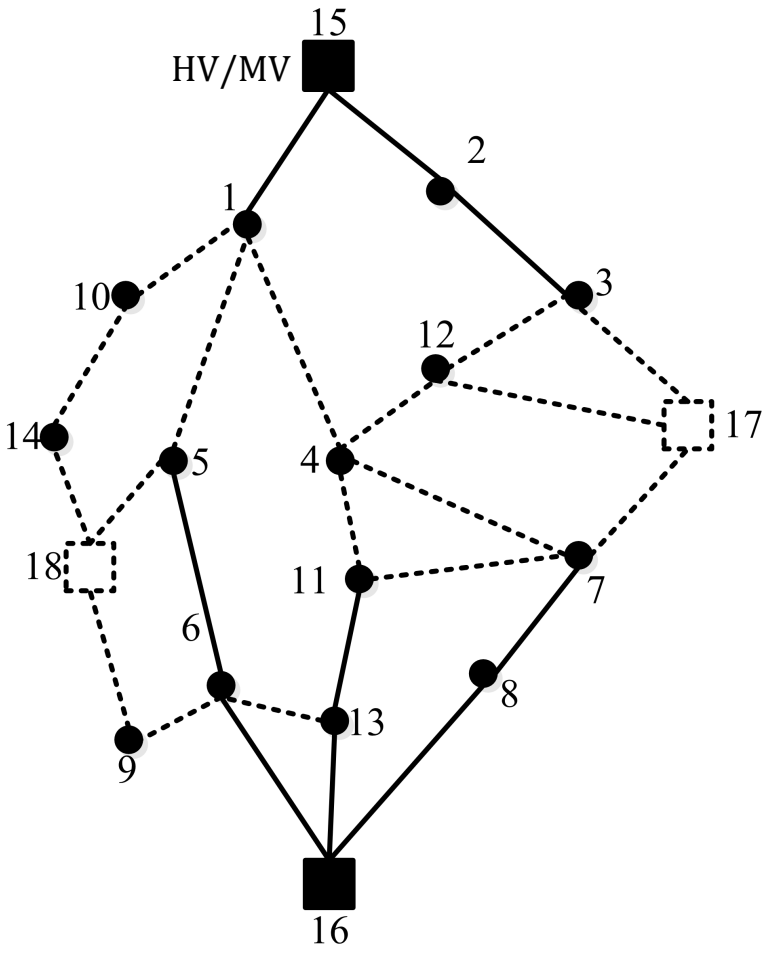
- Cálculo do desvio padrão da potência aparente: Variância corresponde ao quadrado do desvio padrão + linearização por partes adaptada, incluindo variáveis binárias.

$$\sigma_{s,u}^2 = \left[(1+\%Ploss)\phi_{pf}^{-1} \right]^2 \sum_i \sigma_{i,u}^{D\,2} \omega_{s,i,u}^{sub}$$

Resultados

Sistema teste: 18 nós

- Horizonte de planejamento: 3 estágios com 5 anos cada estágio.
- Nós candidatos para alocação de GD: {1,3,7,8,9,10,11,12} com 35% de penetração.
- Número máximo de BC: 6 com 4 módulos cada BC.
- Dois tipos de alternativas de investimento para subestações e circuitos.



Resultados

Parâmetros das ECVEs e dos VEs

Carregadores			VEs	
Tipo	Custo (U$10^3)	Potência (kW)	Tipo	Energia Requerida (kWh)
FC	60	50	Tesla	50
SC	9	10	Nissan	25

- Penetração dos VEs: 2%, 11% e 30% em cada estágio do horizonte de planejamento. (210, 1688, e 5521)
- 20% dos VEs são carregados em casa, enquanto os 80% restantes são carregados em ECVEs.
- Nós candidatos para alocação de ECVEs: {3,8,9,10,11}.
- ϕ_{soc} igual a 0,5.
- Horário de funcionamento das ECVEs: 12 horas/dia.

Resultados

Casos de estudo:

Análise determinística

- **Caso A:** PESDM sem ECVEs.
- **Caso B:** PESDM com ECVEs.

Análise robusta

- **Caso B:** PESDM com ECVEs.
- **Caso C:** PESDM com ECVEs.

Resultados

Análise determinística

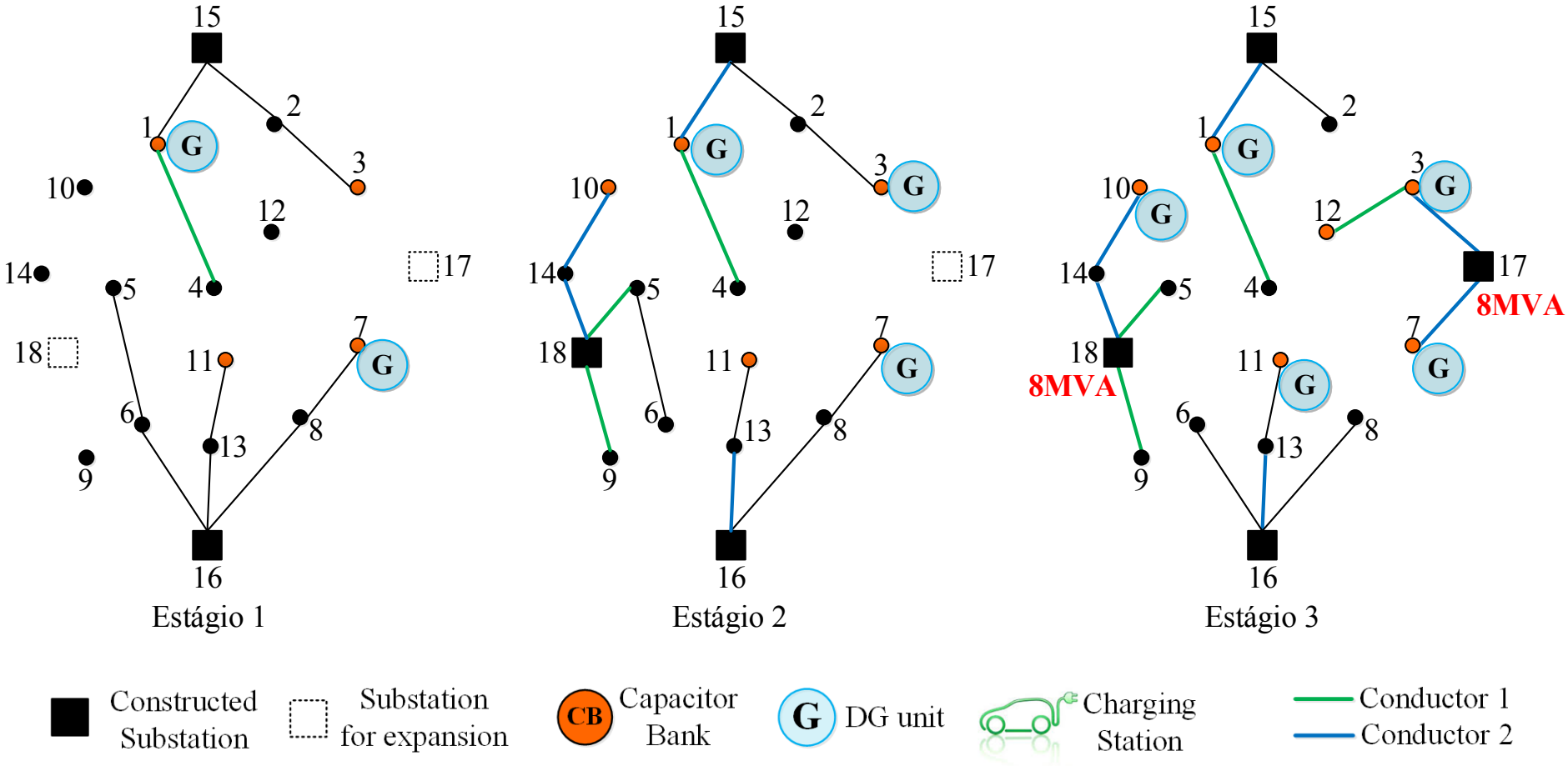
Custos totais do plano de expansão (US$10^3)

Tipo de custo	Caso A	Caso B
IS	1006,46	385,54
IC	397,74	355,32
IBC	21,74	23,39
IGD	7462,42	5766,03
IECV	0,00	2324,73
CES	55686,72	49163,03
CEGD	11424,7	9155,88
Custo total	75999,78	67173,92

Fonte: Próprio autor

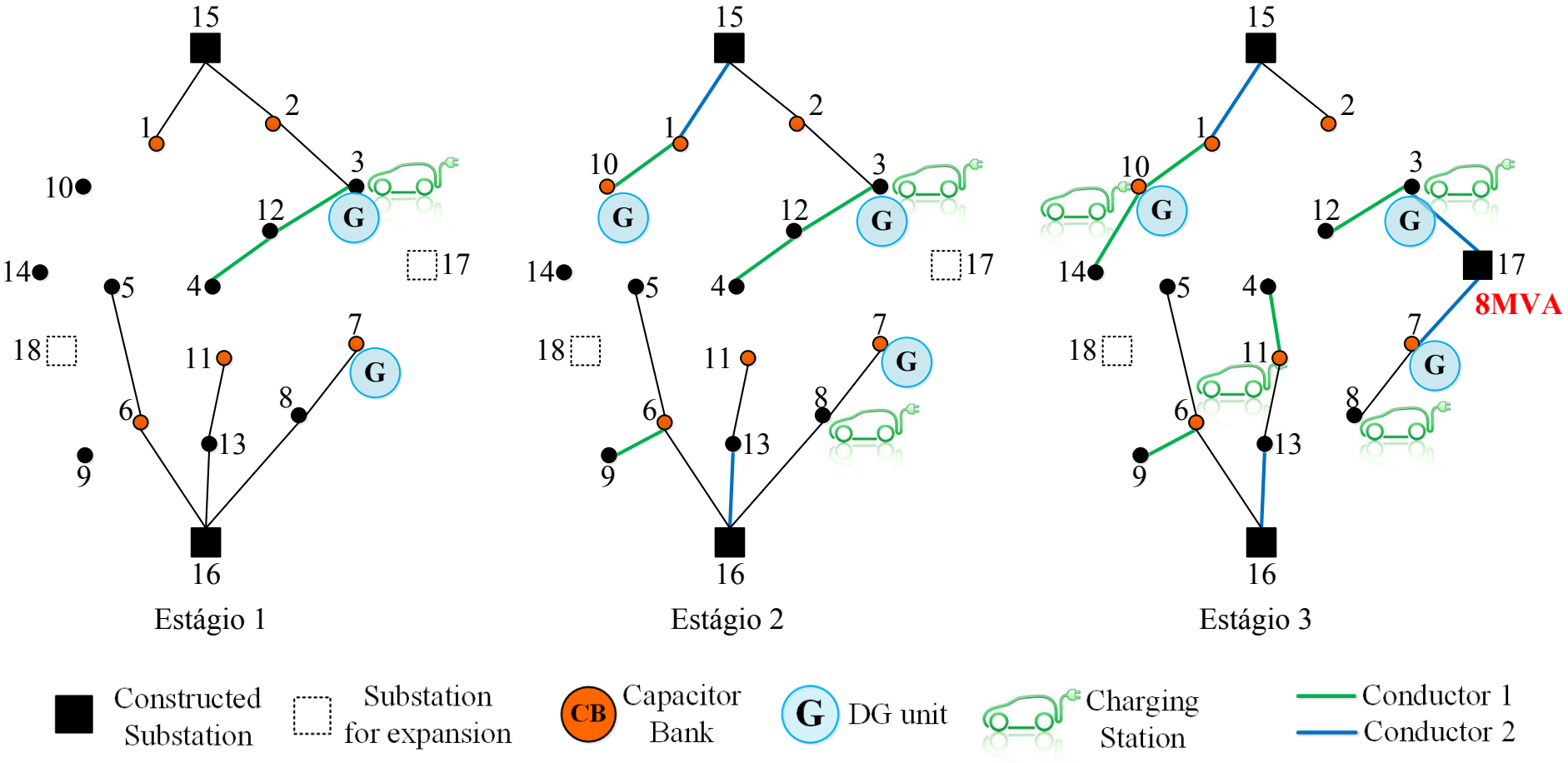
Resultados

- Caso A.



Resultados

- Caso B.



Resultados

Análise robusta

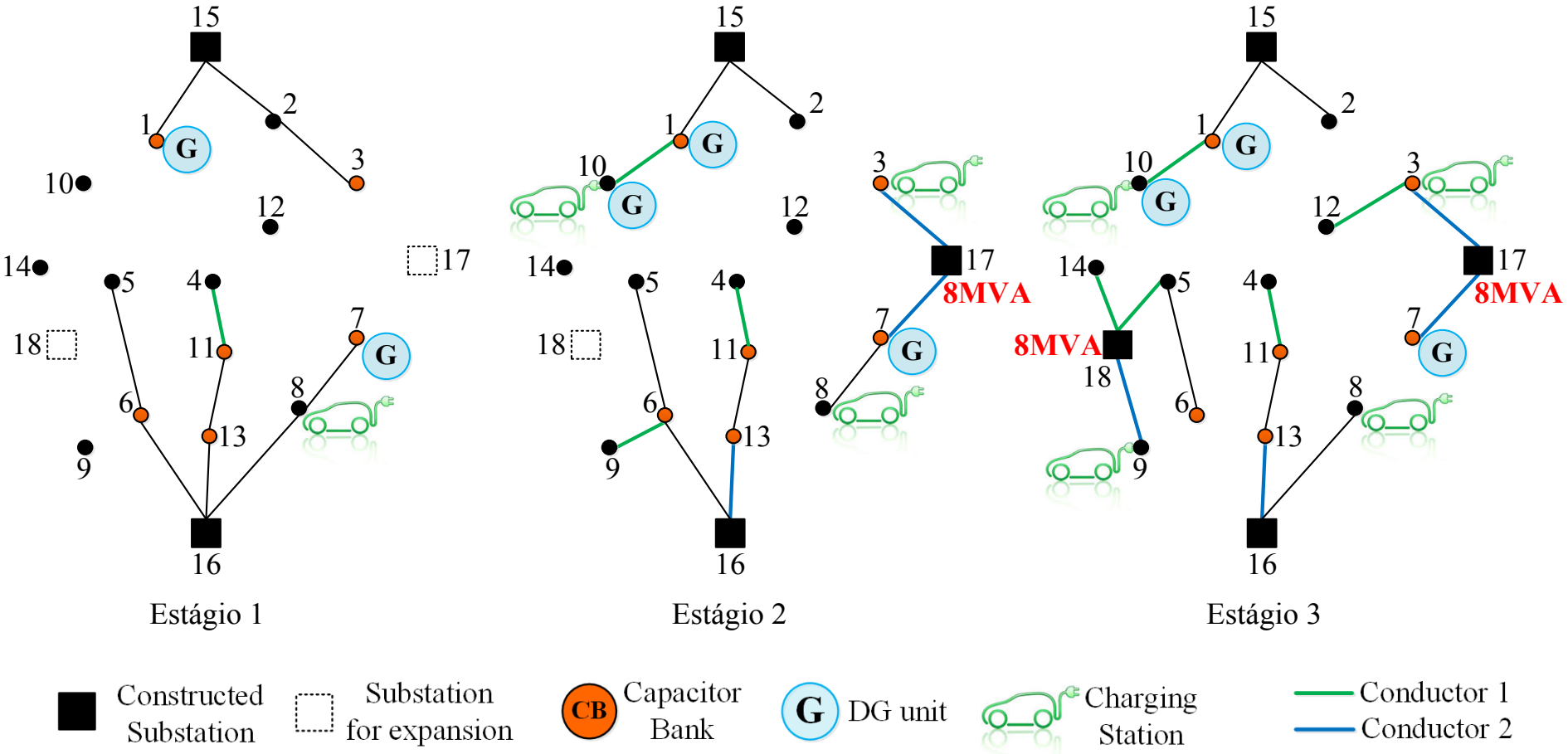
Custos totais do plano de expansão (US$10^3)

Tipo de custo	Caso B	Caso C
IS	385,54	1006,46
IC	355,32	339,11
IBC	23,39	24,22
IGD	5766,03	5766,03
IECV	2324,73	2875,22
CES	49163,03	50170,36
CEGD	9155,88	9155,88
Custo total	67173,92	69337,28

Fonte: Próprio autor

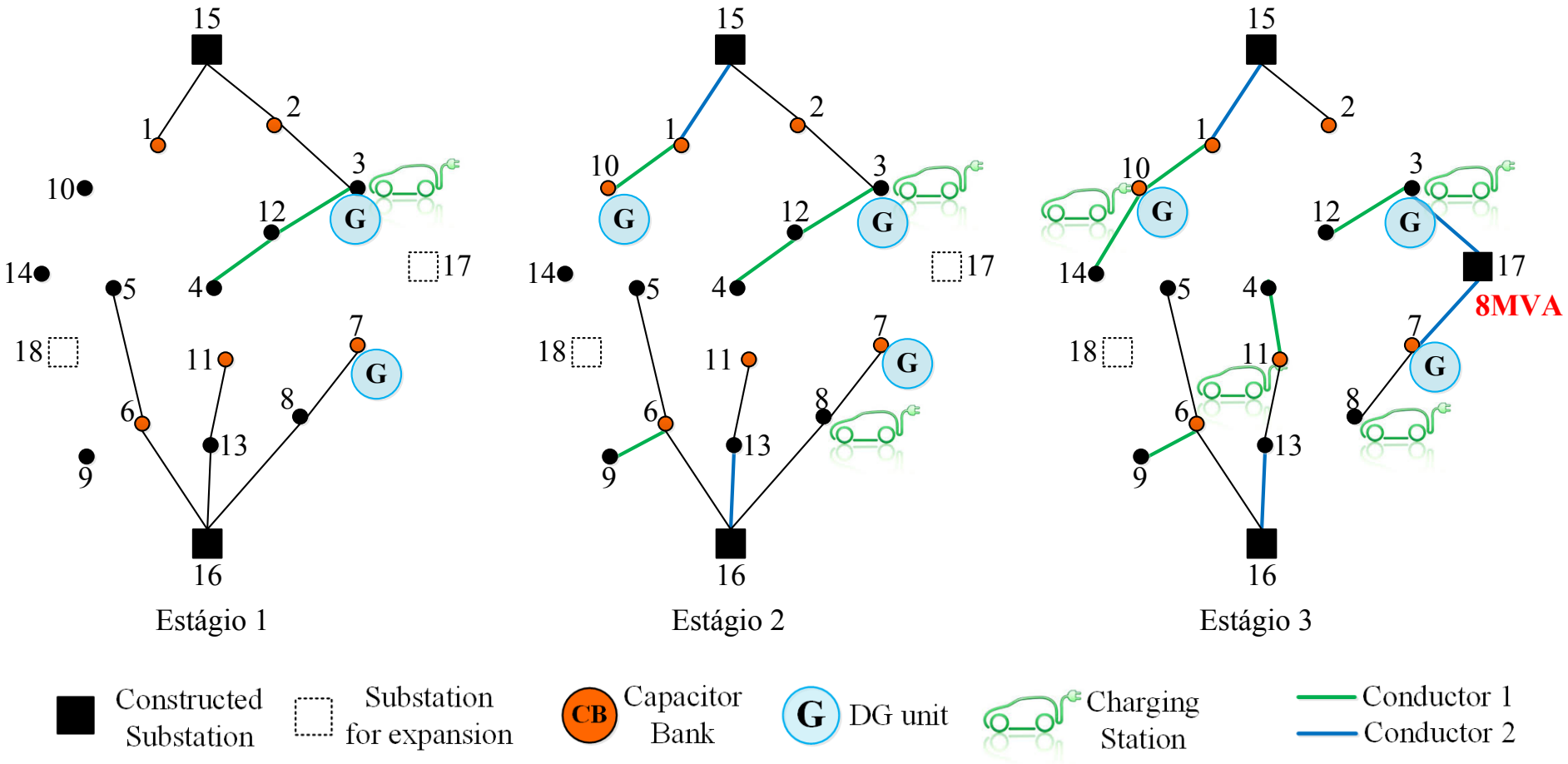
Resultados

- Caso C.



Resultados

- Caso B.



Resultados

Número de ECVEs e carregadores

Análise determinística

- 277 carregadores
- 47 Carregadores rápidos (FCs)
- 230 Carregadores lentos (SCs)



Stage	1		2		3	
Node	FC	SC	FC	SC	FC	SC
3	2	9	14	7	23	187
8	-	-	7	1	-	-
14	-	-	-	-	1	3
15	-	-	-	-	-	23
Total	2	9	21	8	24	213

Análise robusta

- 374 carregadores
- 52 FCs.
- 322 SCs.



Stage	1		2		3	
Node	FC	SC	FC	SC	FC	SC
3	-	-	6	-	-	52
8	3	8	2	-	16	41
13	-	-	-	-	3	214
14	-	-	20	1	2	6
Total	3	8	28	1	21	313

Resultados

Taxa de falhas na capacidade das subestações (%).

	Estágio 1				Estágio 2				Estágio 3			
Subestação	15	16	17	18	15	16	17	18	15	16	17	18
Caso B	0,0	0,2	-	-	3,9	67,9	-	-	43,8	36,6	0,4	-
Caso C	0,0	1,4	-	-	0,0	0,0	0,2	-	0,0	2,6	2,2	1,0

Fonte: (BANOL ARIAS et al., 2018a)

Taxa de falhas das ECVEs (%).

Estágio	1	2	3
Caso B	36,9	47,8	49,1
Caso C	0,5	1,2	1,4

Fonte: Próprio autor

Conclusões

- Foi desenvolvido um modelo de PLIM para resolver o problema de PESDM considerando a alocação e dimensionamento de ECVEs e incerteza na demanda convencional e dos VEs.

- Foi proposta uma formulação robusta baseada em restrições probabilísticas garantindo o cumprimento da capacidade das subestações e o requerimento de energia dos VEs.

Conclusões

- O SDE é afetado pela integração de VEs no sistema. O impacto é principalmente refletido pelas diferenças entre os investimentos realizados.

- É mais interessante atender a carga agregada dos VEs através de ECVEs, já que um incremento da carga espalhado em toda a rede de distribuição requer uma maior expansão da rede.

Conclusões

- A solução determinística fornece planos de investimento mais atrativos. Porém, esse plano poderia apresentar uma alta taxa de falhas para a capacidade da subestação quando a demanda convencional e dos VEs é incerta.

- A solução robusta fornece um plano de investimento com um custo maior (5%), no entanto, suficientemente robusta para lidar com as incertezas associadas às demandas.

- Os resultados mostraram que uma alta penetração de VEs impacta significativamente a operação do SDE, independentemente do ponto de conexão.

Trabalhos futuros

- Implementar um modelo bi-nível visando considerar a operação das ECVEs de forma mais detalhada dentro do planejamento da expansão.

- Adaptar o modelo proposto para considerar o caso em que as ECVEs são propriedade de terceiros visando maximizar beneficio social.

- Adaptar o modelo proposto para considerar a possibilidade de que os VEs forneçam potência à rede.

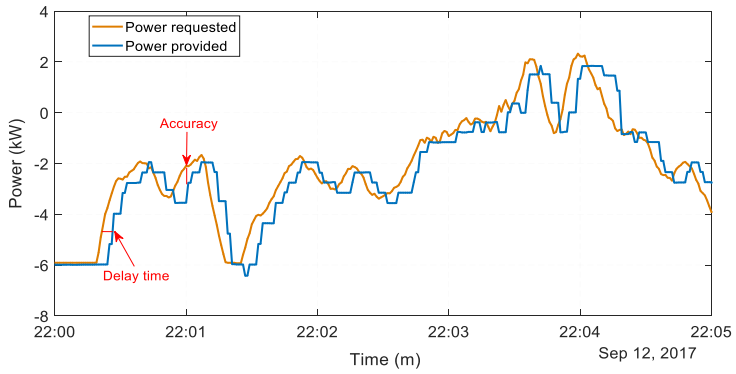
- Incluir restrições probabilísticas para os limites de tensão e de corrente no problema de planejamento da expansão.

Trabalhos correlatos

V2G Enabled EVs Providing Frequency Containment Reserves: Field Results

Resultados da operação real de uma frota de VEs que fornece serviços de regulação de frequência ao operador do sistema de transmissão na Dinamarca através da tecnologia V2G, no âmbito do projeto de integração de VEs nos sistemas de potência “Parker-project”.

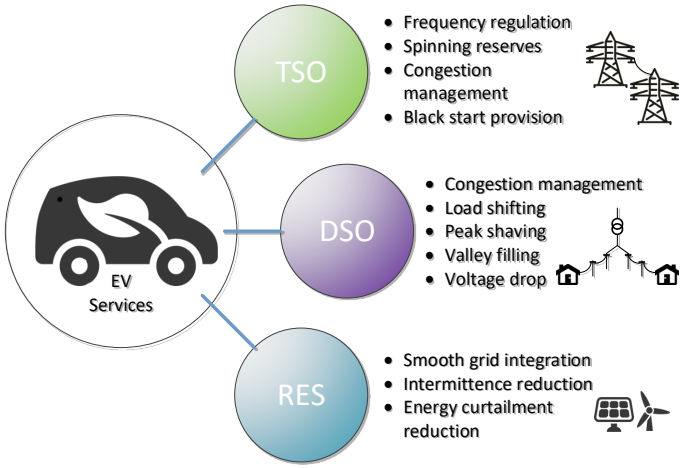




Trabalhos correlatos

Distribution System Services Provided by Electric Vehicles: Recent Status, Challenges, and Future Prospects:

Uma revisão da literatura e classificação dos serviços potenciais que os VEs podem proporcionar especialmente aos operadores do sistema de distribuição no contexto das redes inteligentes.

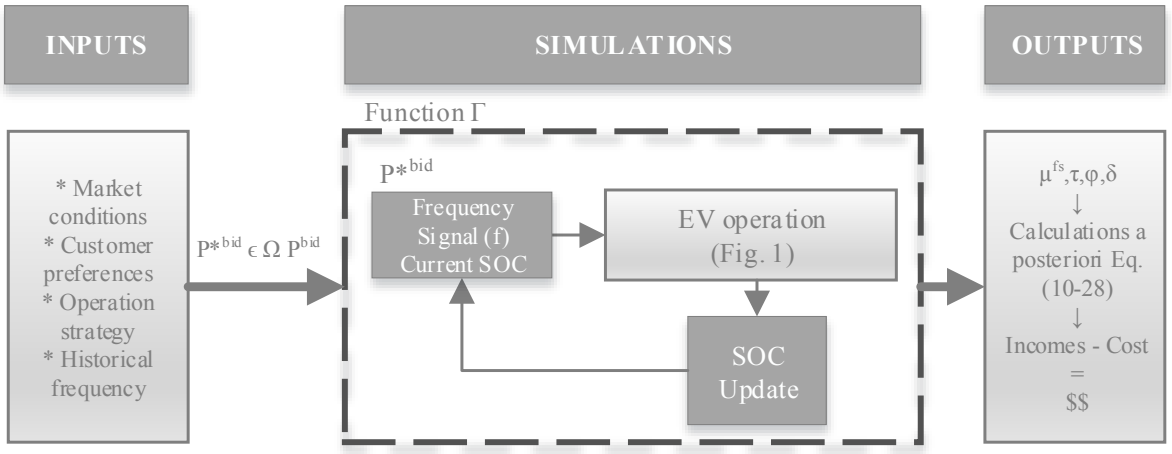


- Descrição detalhada das abordagens utilizadas na literatura para fornecer serviços aos OSDs através dos VEs.
- É proposta uma avaliação da maturidade desses serviços.
- São discutidos as barreiras para implementar serviços fornecidos pelos VEs para os OSDs em aplicações da vida real.

Trabalhos correlatos

Assessment of Economic Benefits for EV Owners Participating in the Primary Frequency Regulation Markets

Uma avaliação do benefício econômico que os usuários proprietários de VEs podem obter quando participam em mercados de regulação de frequência primária.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

LaPSEE
Laboratório de Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica

DEFESA DE DOUTORADO

Integração de Veículos Elétricos no Planejamento da Expansão dos Sistemas de Distribuição



Obrigada!

Ilha Solteira, 15 de Fevereiro de 2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

LaPSEE
Laboratório de Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica

DEFESA DE DOUTORADO

Integração de Veículos Elétricos no Planejamento da Expansão dos Sistemas de Distribuição

Aluna: Maria Nataly Bañol Arias

Orientador: Prof. Dr. John Fredy Franco B.

Departamento de Engenharia Elétrica

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Ilha Solteira, 15 de Fevereiro de 2019