

Aula 7 - Microrredes / Redes inteligentes

Principais conceitos, modelagem e estratégias típicas de controle

Prof. Marcelo Menezes Morato

DAS 4101112

**Modelagem, Otimização e Controle de
Sistemas de Energias Renováveis**



Contexto

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



Contexto

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



7 ENERGIA LIMPA E ACESSÍVEL

Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos

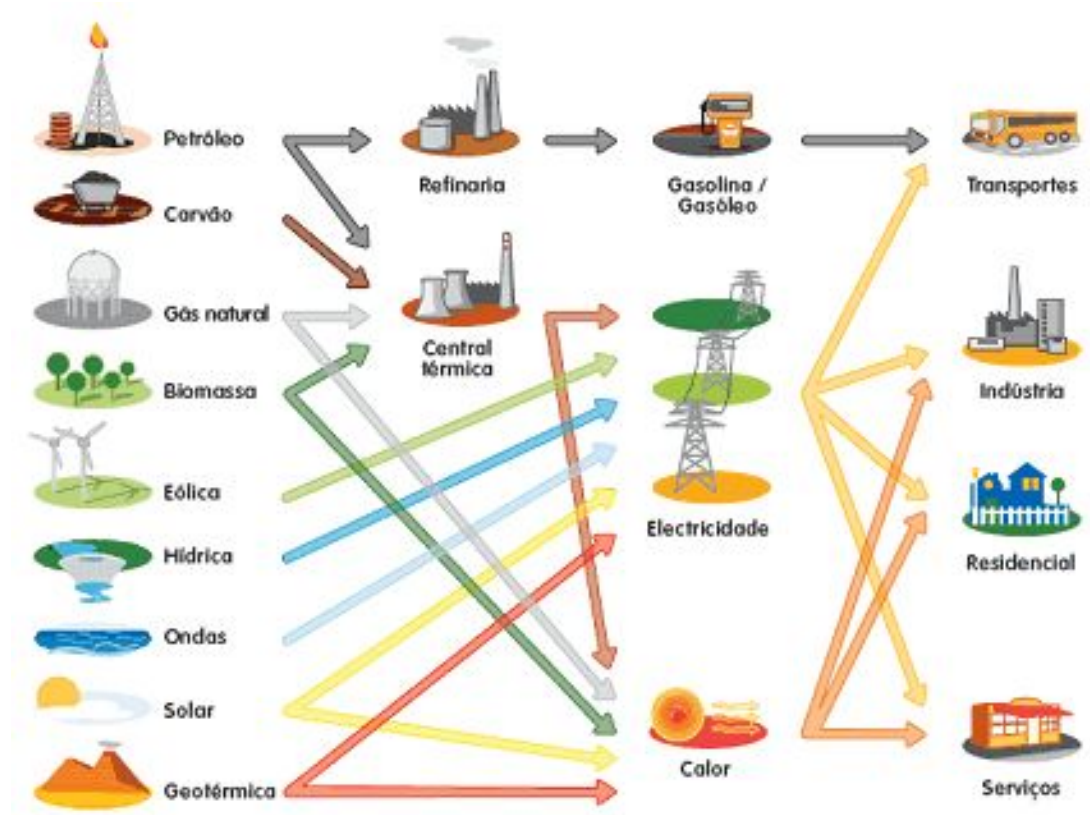


Contexto

- Hoje (2023): Compromisso do *net zero*, *fossil phase-out*, Agenda 2030
- Demanda elevada
- Renováveis suplantam fontes fósseis (2050)

Contexto

- Demanda energética crescente
- Fontes diversificadas
- Sustentabilidade ?
- Como garantir a operação contínua da geração de energia?



Contexto

- Desenvolvimento sustentável **de fato**?
- Matrizes 100% limpas, renováveis até 2030?
- Fontes renováveis são viáveis como geração principal?
- São intermitentes, não podem ser **controladas** ...

Contexto

- Desenvolvimento sustentável **de fato**?
- Matrizes 100% limpas, renováveis até 2030?
- Fontes renováveis são viáveis como geração principal?
- São intermitentes, não podem ser **controladas** ...

Supervisão, Otimização e Controle

Contexto

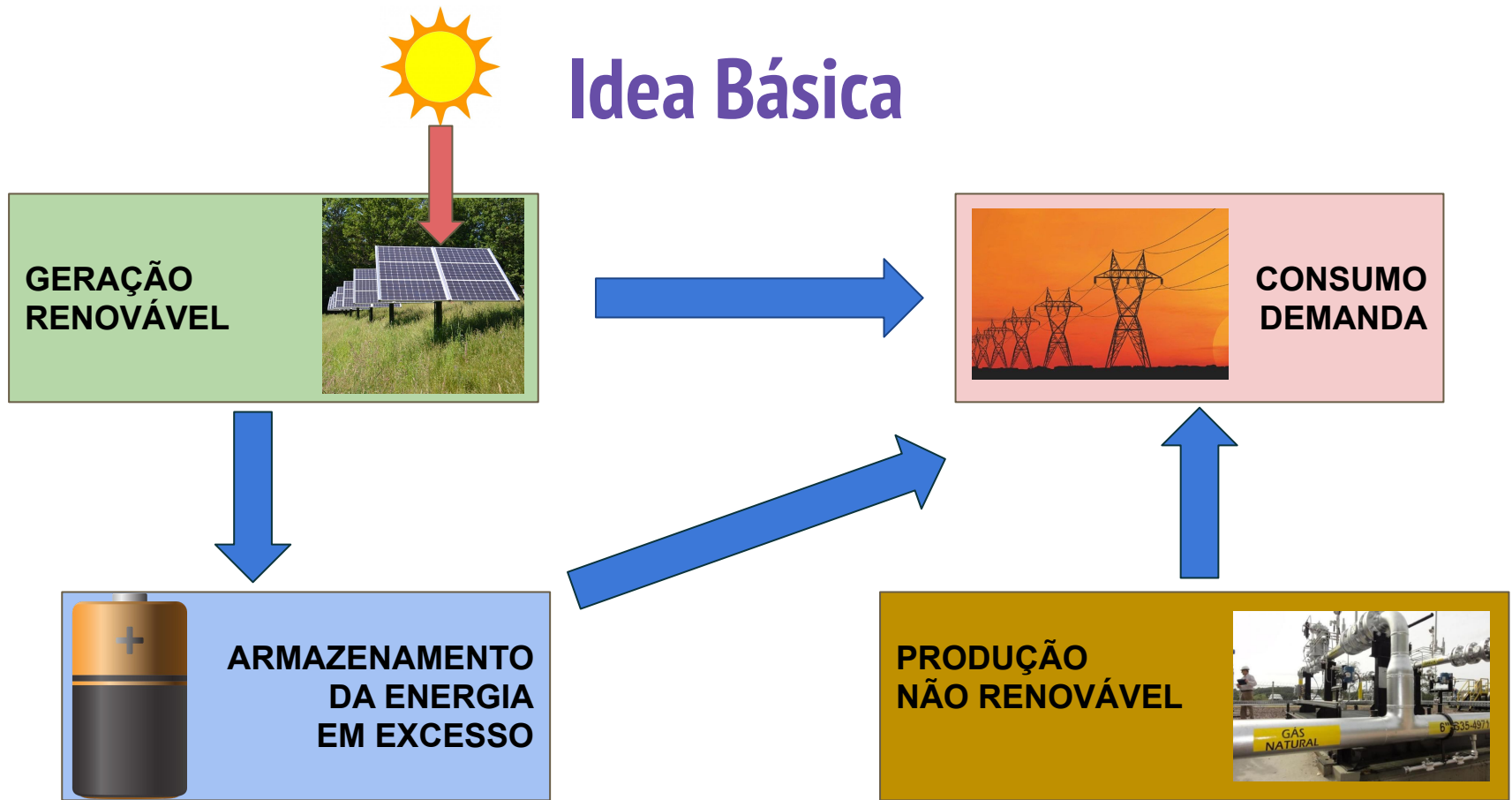
- Os sistemas de geração de energia são complexos:
 - Muitas variáveis
 - Não Linearidades
 - Perturbações e Incertezas
 - Renováveis → Geração de energia não é controlável
 - Só temos energia quando há vento, sol, ondas, etc

Contexto

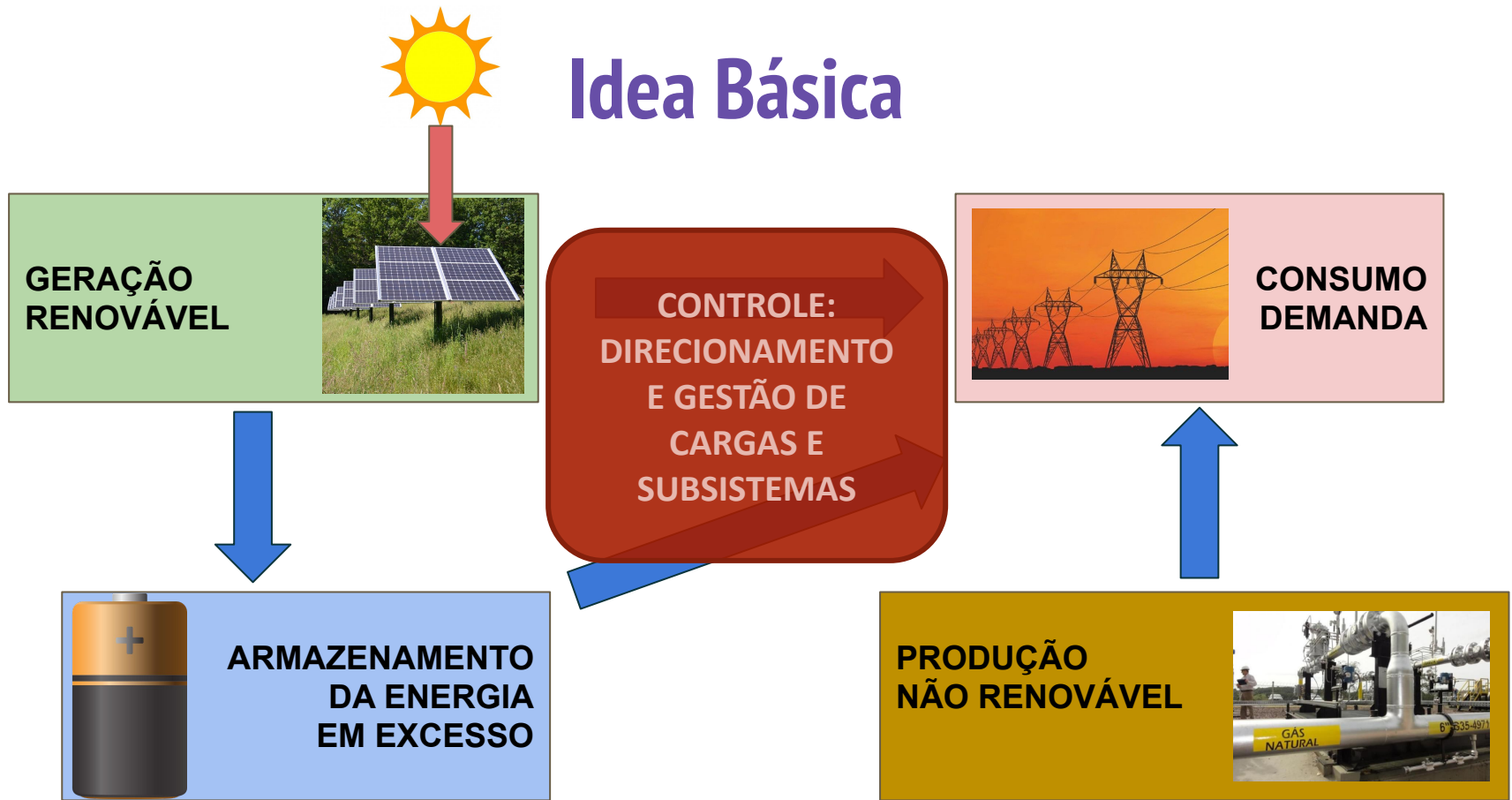
Controle e Planejamento

- **Otimização** → menos *gasto*
- **Melhorar** → mais *eficiência*
- **Planejar** → planificar operação

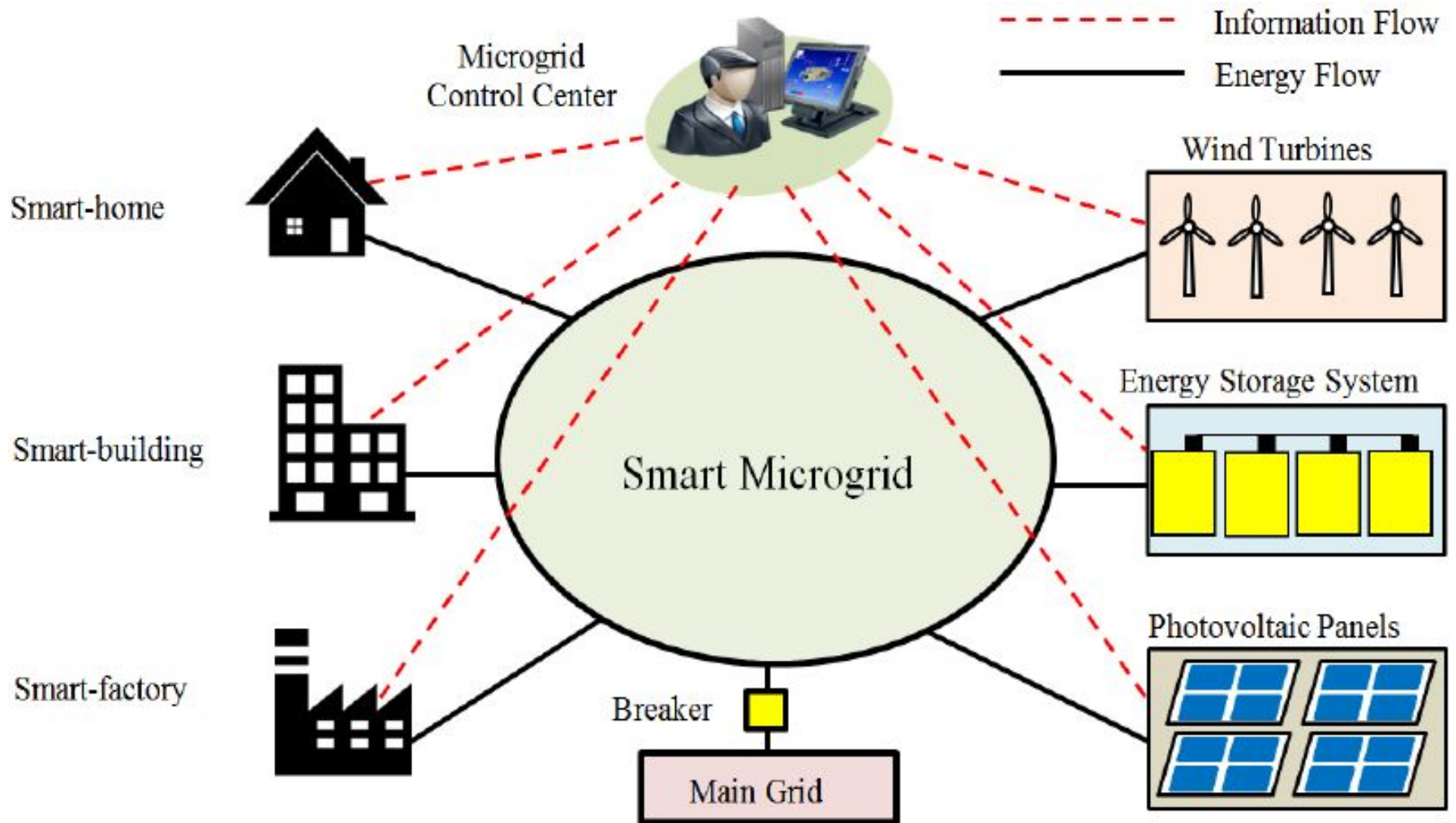
Contexto



Contexto



Microrredes (Redes inteligentes)



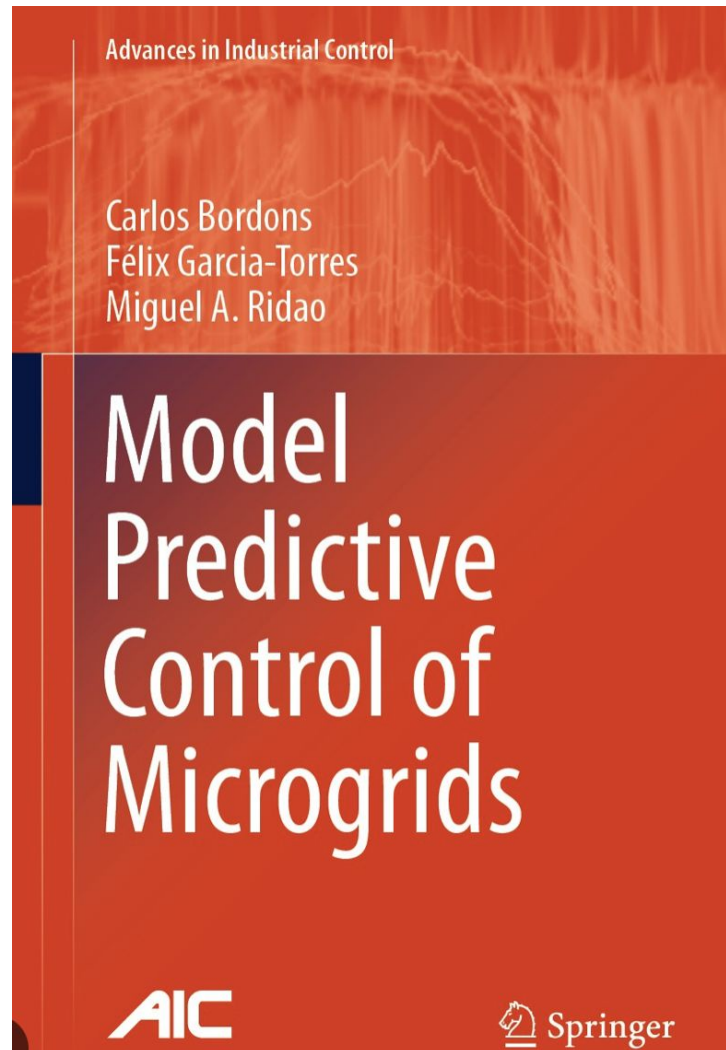
Microrredes (Redes inteligentes)

- Geração Renovável
 - Fotovoltaica e solar térmica
 - Eólica
 - Biomassa, biogás, etc

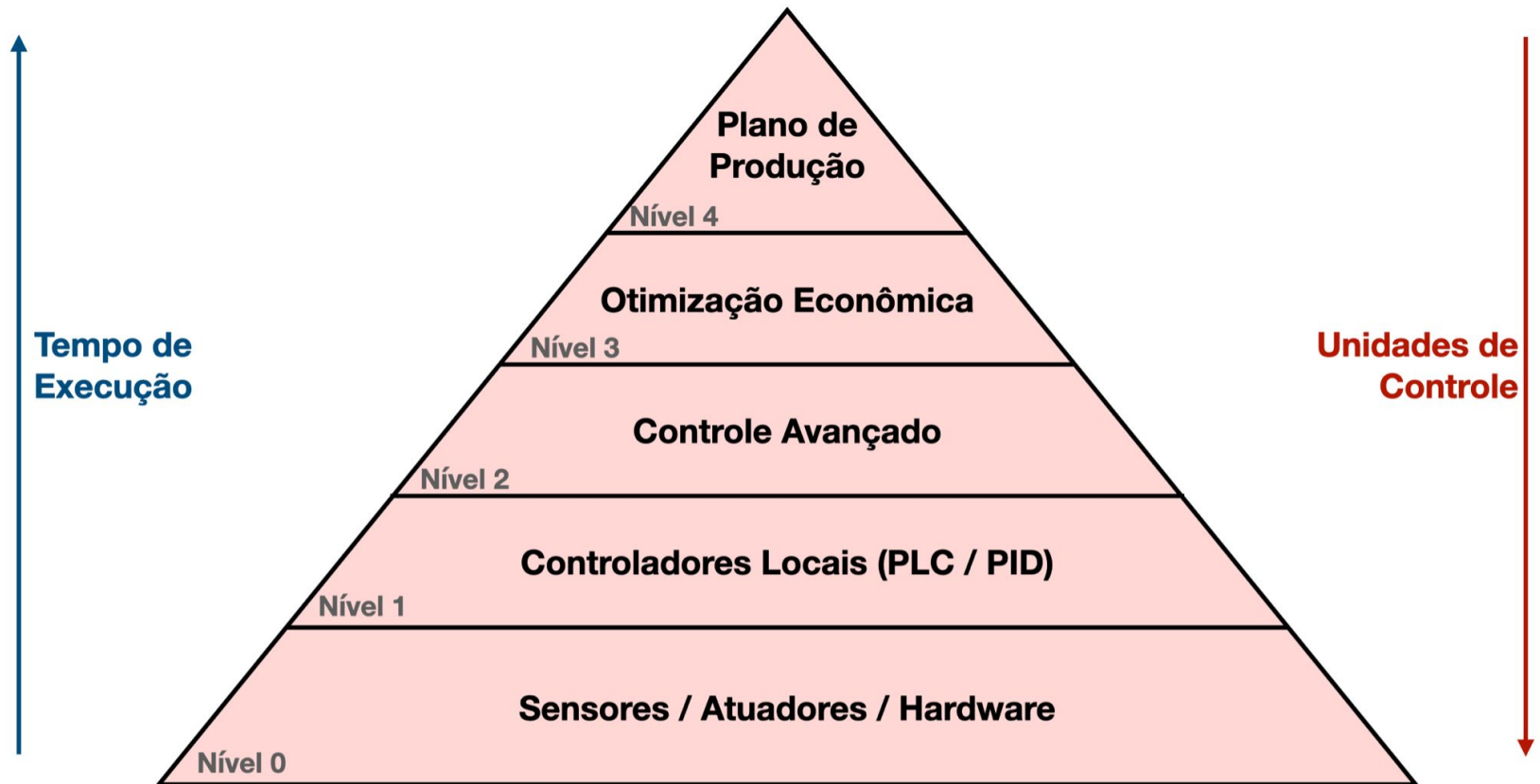
Microrredes (Redes inteligentes)

- Geração Renovável
 - Fotovoltaica e solar térmica
 - Eólica
 - Biomassa, biogás, etc
- Consumo e comercialização
 - Consumo/Demanda *in locus*
 - Compra e venda de energia (trocas com a rede)
 - Gestão as cargas internas (armazenamento)

Microrredes (Redes inteligentes)



Controle de Sistemas de Geração de Energia

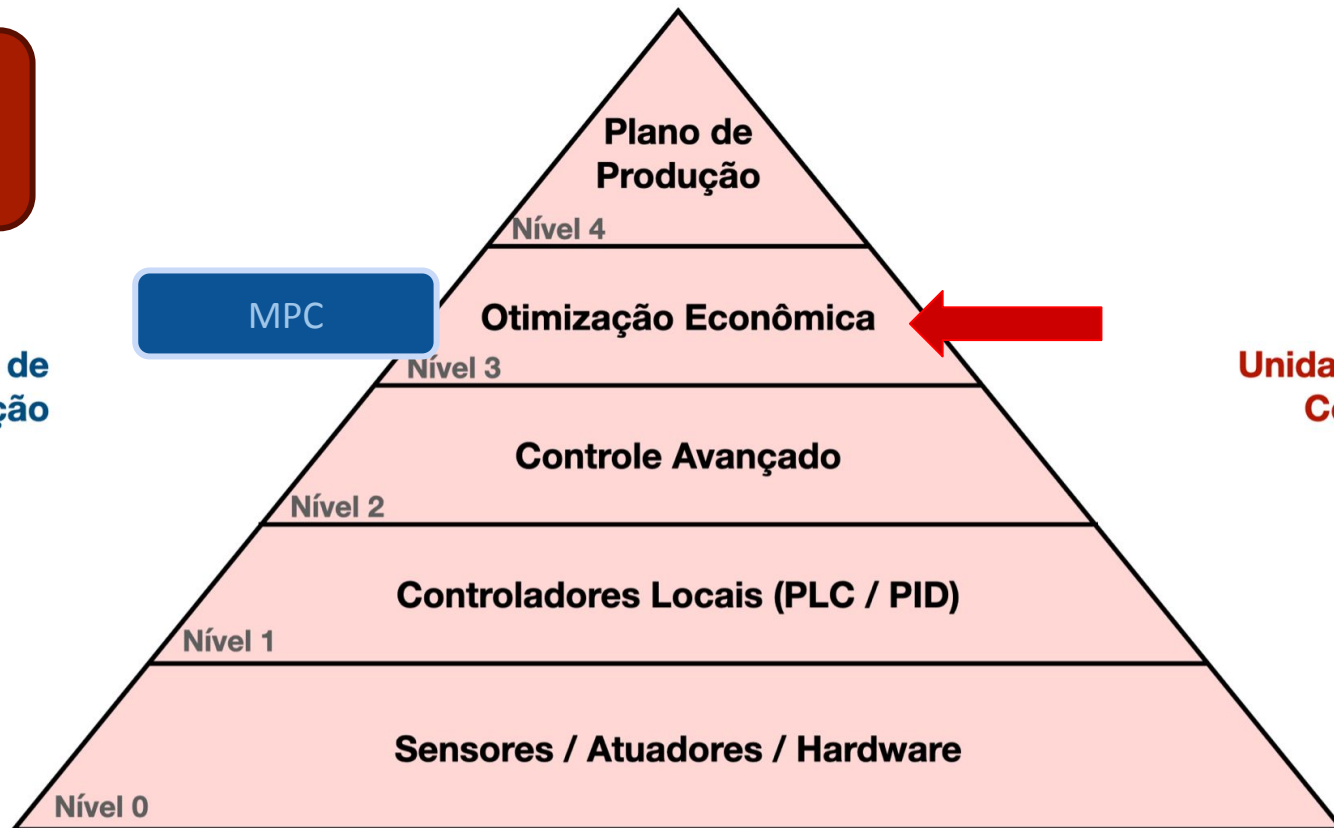


Controle de Sistemas de Geração de Energia

Amostragem
por hora

Tempo de
Execução

MPC



Modelos para Microrredes

Equações diferenciais não-lineares

Modelos para Microrredes

Equações diferenciais não-lineares:

- Conservação de massa

Modelos para Microrredes

Equações diferenciais não-lineares:

- Conservação de massa
- Conservação de energia

Modelos para Microrredes

Equações diferenciais não-lineares:

- Conservação de massa
- Conservação de energia
- Conversão (estática) entre as distintas formas de energia no sistema (fluxo, potência, escoamento)

Modelos para Microrredes

Equações diferenciais não-lineares:

- Conservação de massa
- Conservação de energia
- Conversão (estática) entre as distintas formas de energia no sistema (fluxo, potência, escoamento)

■ ***Energy Hubs* (Geidl, 2007)**

Modelos para Microrredes

Energy Hubs for the Future



© CARTVILLI, LLC. PHOTOGRAPH

24

IEEE power & energy magazine

1540-7977/07/\$25.00©2007 IEEE

January/February 2007

Authorized licensed use limited to: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Downloaded on April 11, 2024 at 17:18:42 UTC from IEEE Xplore. Restrictions apply.

Modelos para Microrredes

Energy Hubs for the Future

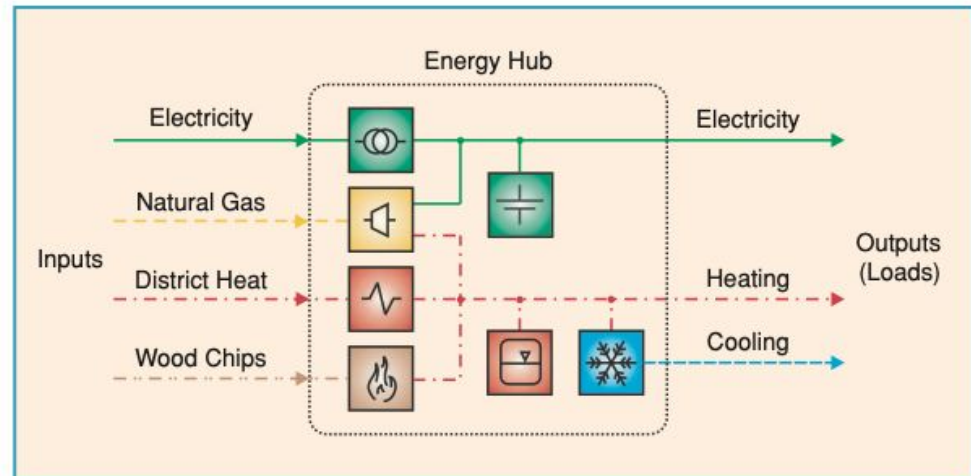


figure 2. Example of an energy hub that contains a transformer, a microturbine, a heat exchanger, a furnace, an absorption chiller, a battery, and a hot water storage.

Modelos para Microrredes

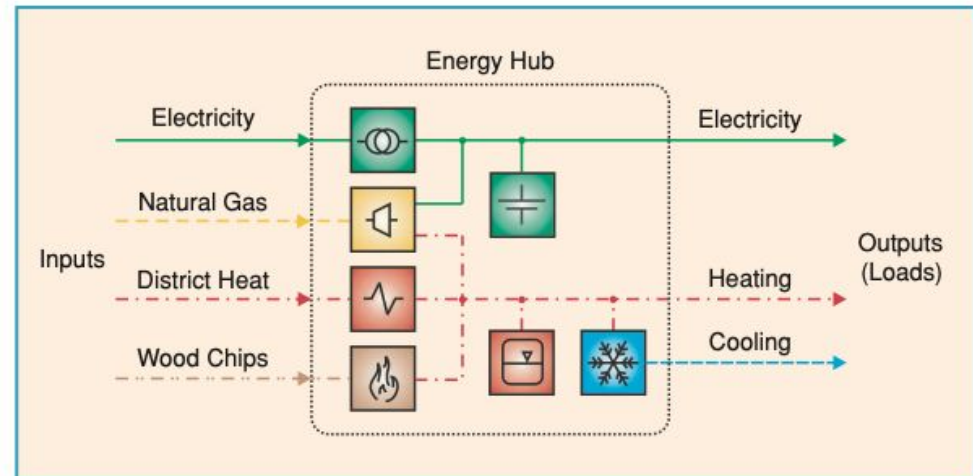
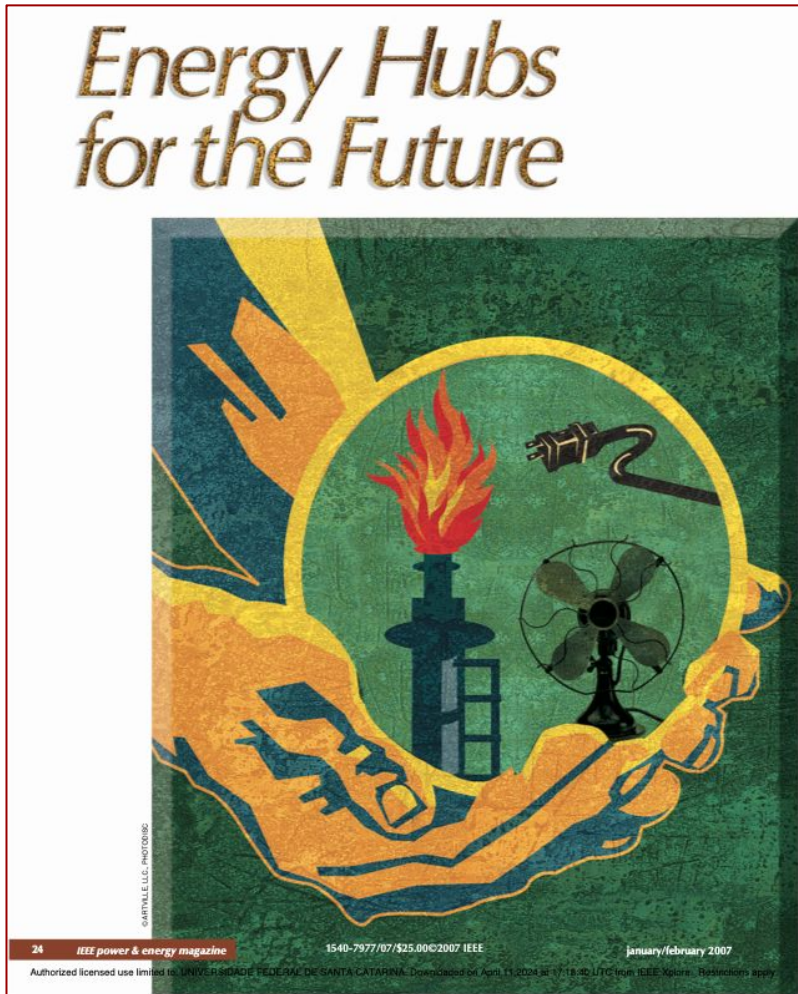


figure 2. Example of an energy hub that contains a transformer, a microturbine, a heat exchanger, a furnace, an absorption chiller, a battery, and a hot water storage.

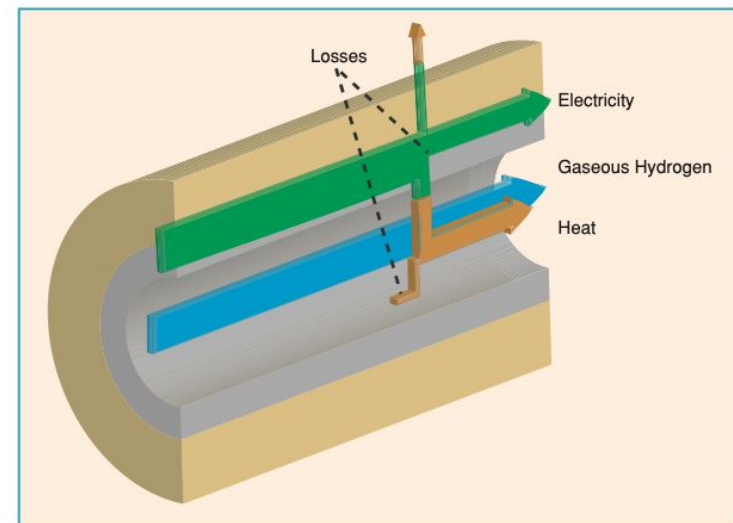


figure 3. Possible layout of an energy interconnector.

Modelos para Microrredes

Energy Hubs for the Future

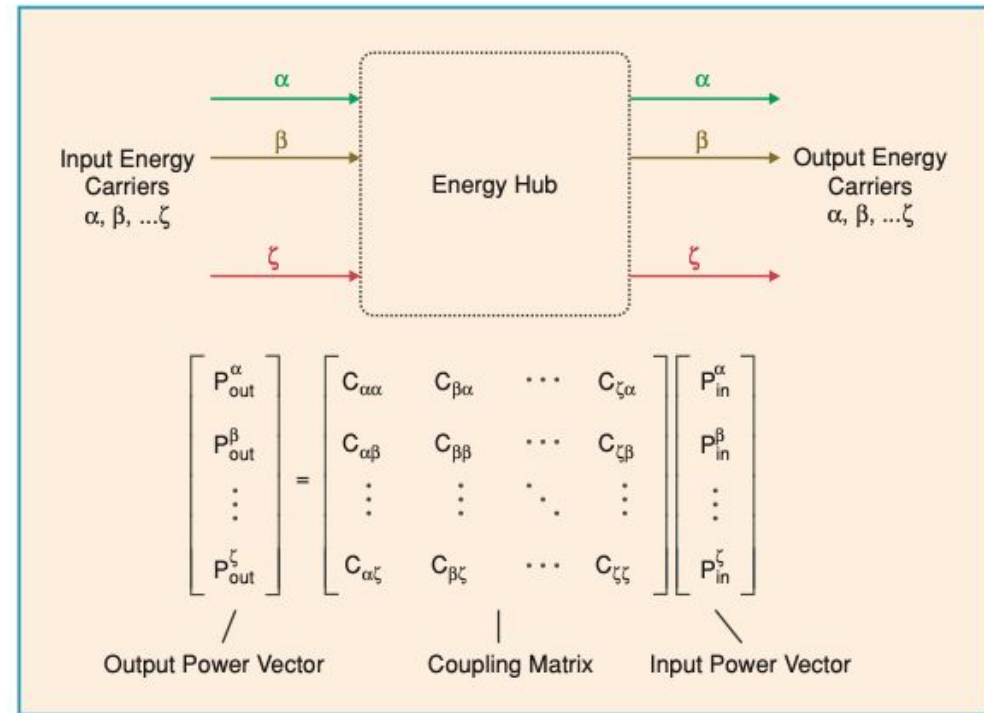


figure 4. Modeling the transformation of power through an energy hub.

Modelos para Microrredes

INTERNATIONAL JOURNAL OF HYDROGEN ENERGY 46 (2021) 23795–23814



Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

journal homepage: www.elsevier.com/locate/he



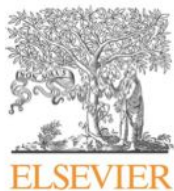
Review Article

Multi carrier energy systems and energy hubs: Comprehensive review, survey and recommendations



Ahmad Abdallah Mohammad Aljabery ^a, Hasan Mehrjerdi ^a,
Sajad Mahdavi ^b, Reza Hemmati ^{b,*}

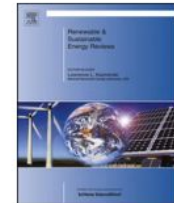
Renewable and Sustainable Energy Reviews 80 (2017) 1512–1527



Contents lists available at ScienceDirect

Renewable and Sustainable Energy Reviews

journal homepage: www.elsevier.com/locate/rser



Energy hub: From a model to a concept – A review

Mohammad Mohammadi^a, Younes Noorollahi^{a,*}, Behnam Mohammadi-ivatloo^b,
Hossein Yousefi^a



Modelos para Microrredes

Energy Hubs for the Future



- Conversao entre formas energia

$$y_j(k) = \sigma_j z_j(k)$$

Modelos para Microrredes

Energy Hubs for the Future



- Conversao entre formas energia

$$y_j(k) = \sigma_j z_j(k)$$

- Armazenamento de energia

$$x_j(k+1) = \delta_j x_j(k) + \epsilon_j (y_j^{\text{in}}(k) - y_j^{\text{out}}(k))$$

Modelos para Microrredes

Energy Hubs for the Future



- Conversao entre formas energia

$$y_j(k) = \sigma_j z_j(k)$$

- Armazenamento de energia

$$x_j(k+1) = \delta_j x_j(k) + \epsilon_j (y_j^{\text{in}}(k) - y_j^{\text{out}}(k))$$

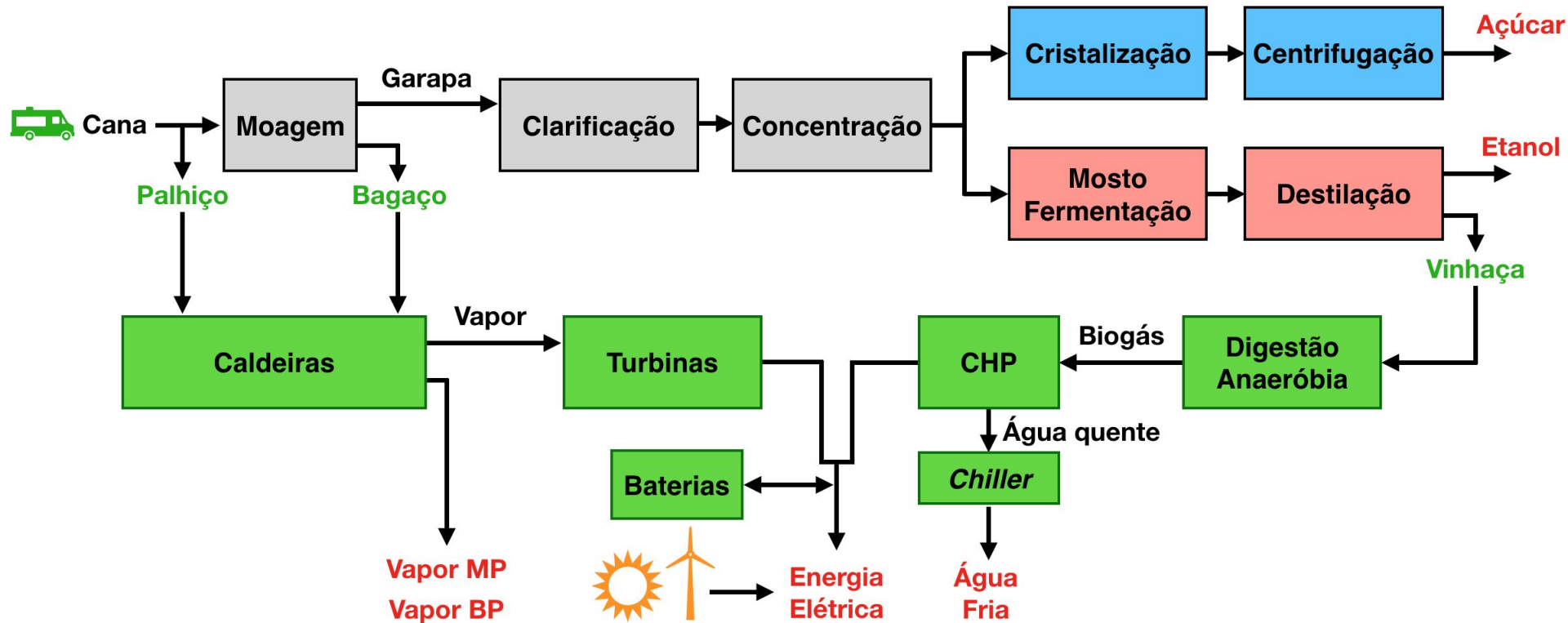
- Modelo **discreto** em espaço de estados

$$\begin{aligned} x(k+1) &= Ax(k) + Bu(k) + B_w w(k), \\ y(k) &= Cx(k) + Du(k) + D_w w(k) \end{aligned}$$

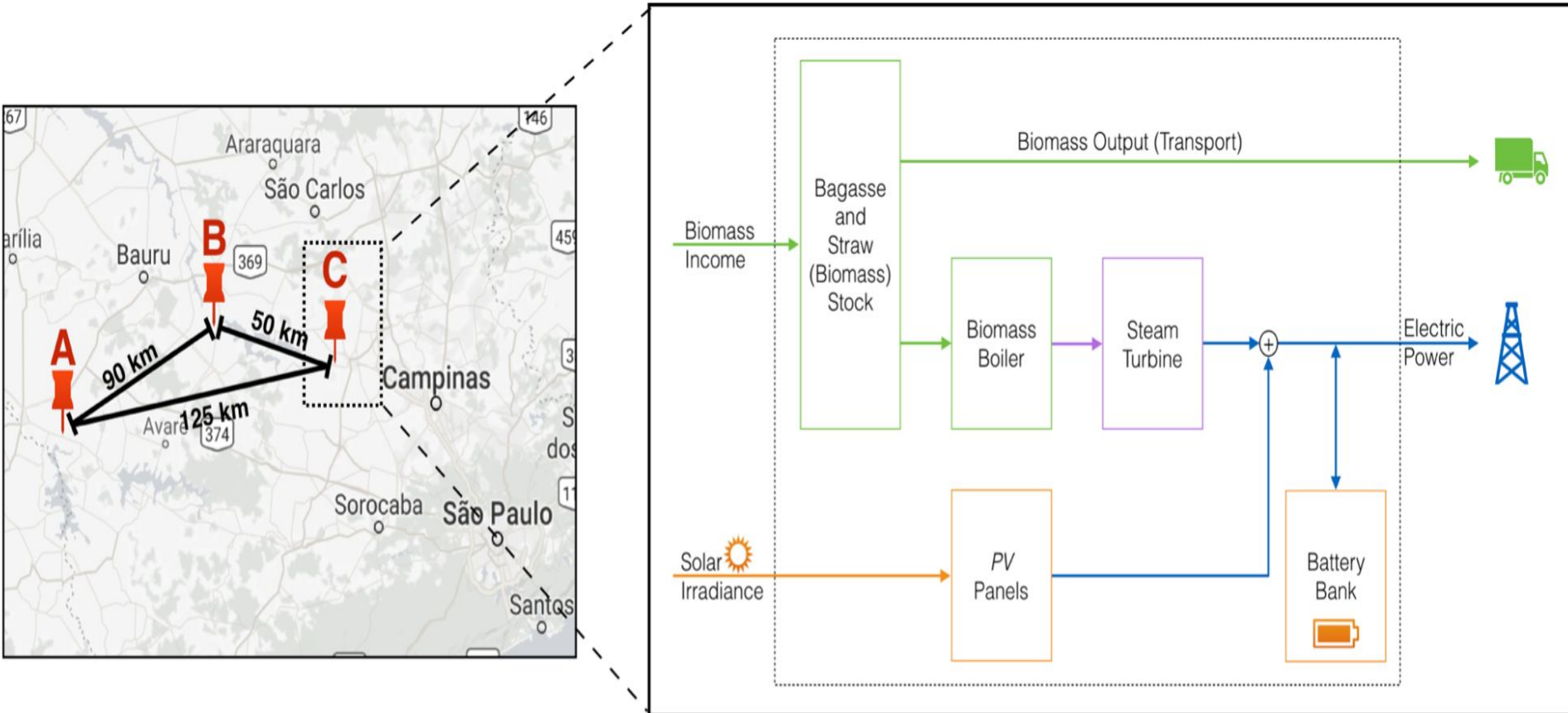
Caso de Estudo: Indústria da Cana-de-Açúcar

- **Brasil: 44% já é renovável →**
 - Cana-de-açúcar (40%), Hidroelétrica (29%), Solar e Eólica (3%)
- **250 kg de Bagaço / t de Cana (Biomassa)**
- **Estas indústrias → regiões bem ensolaradas (interior São Paulo)**

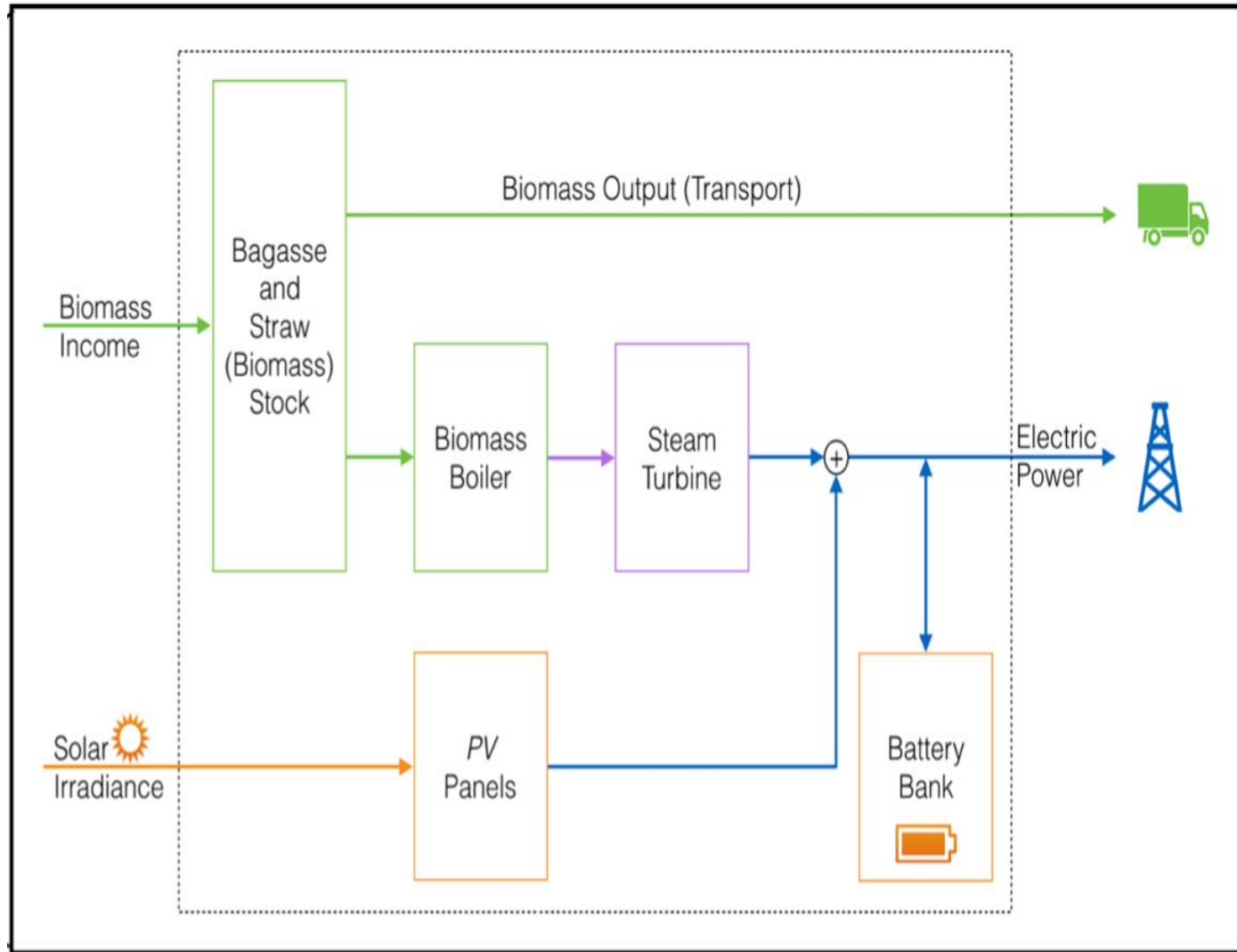
Caso de Estudo: Indústria da Cana-de-Açúcar



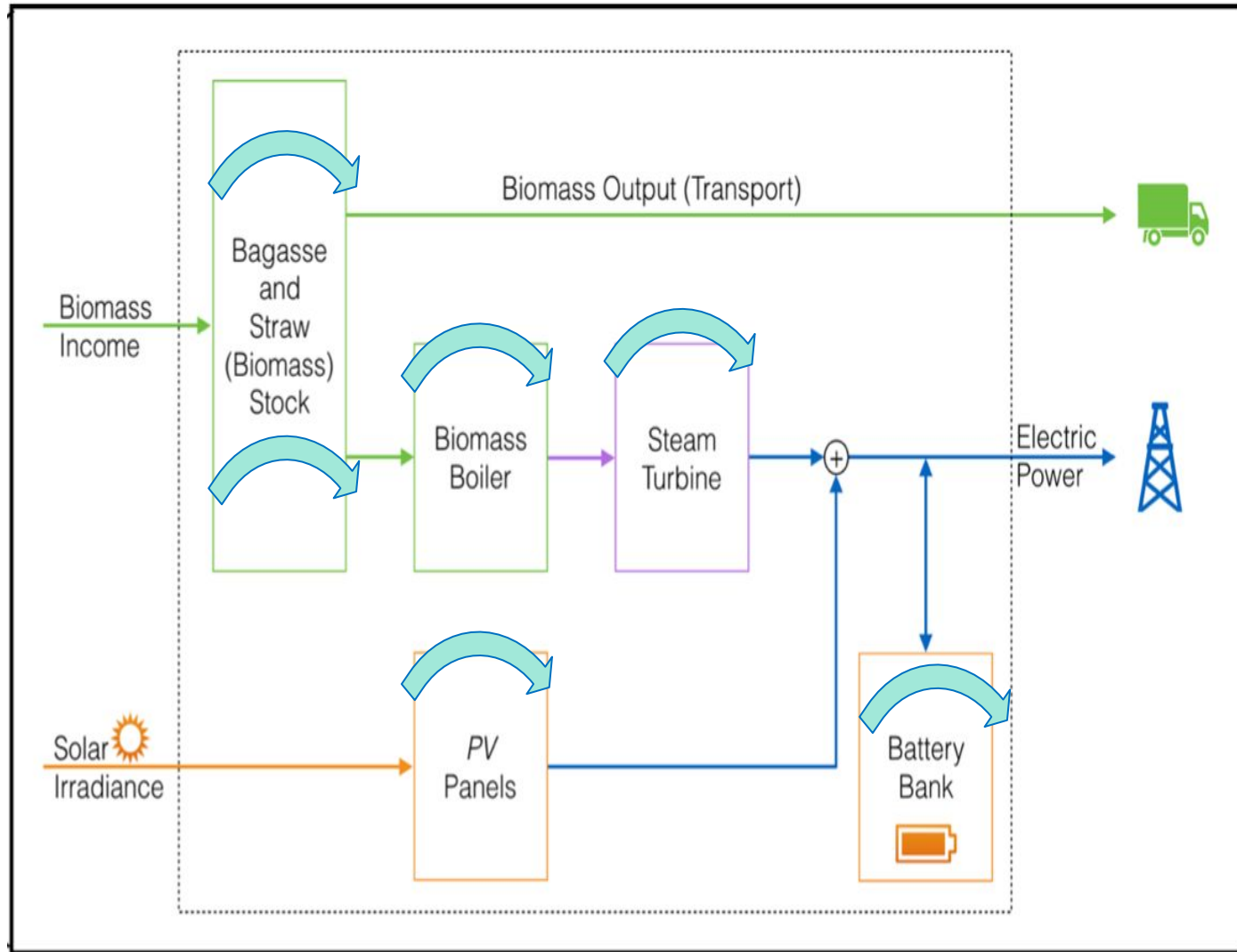
Caso de Estudo: Indústria da Cana-de-Açúcar



Caso de Estudo: Indústria da Cana-de-Açúcar



Caso de Estudo: Indústria da Cana-de-Açúcar



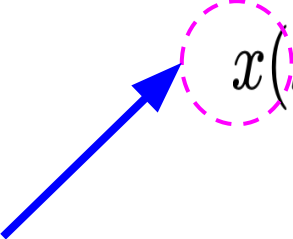
Caso de Estudo: Indústria da Cana-de-Açúcar

Resultado: Modelo em Espaço de Estados

$$\begin{aligned}x(k+1) &= Ax(k) + B_1u(k) + B_2W(k) \\y(k) &= D_1u(k) + D_2W(k)\end{aligned}$$

Caso de Estudo: Indústria da Cana-de-Açúcar

Resultado: Modelo em Espaço de Estados


$$x(k+1) = Ax(k) + B_1u(k) + B_2W(k)$$

$$y(k) = D_1u(k) + D_2W(k)$$

Estados:

**Nível de carga nas
Baterias, Biomassa**

Caso de Estudo: Indústria da Cana-de-Açúcar

Resultado: Modelo em Espaço de Estados

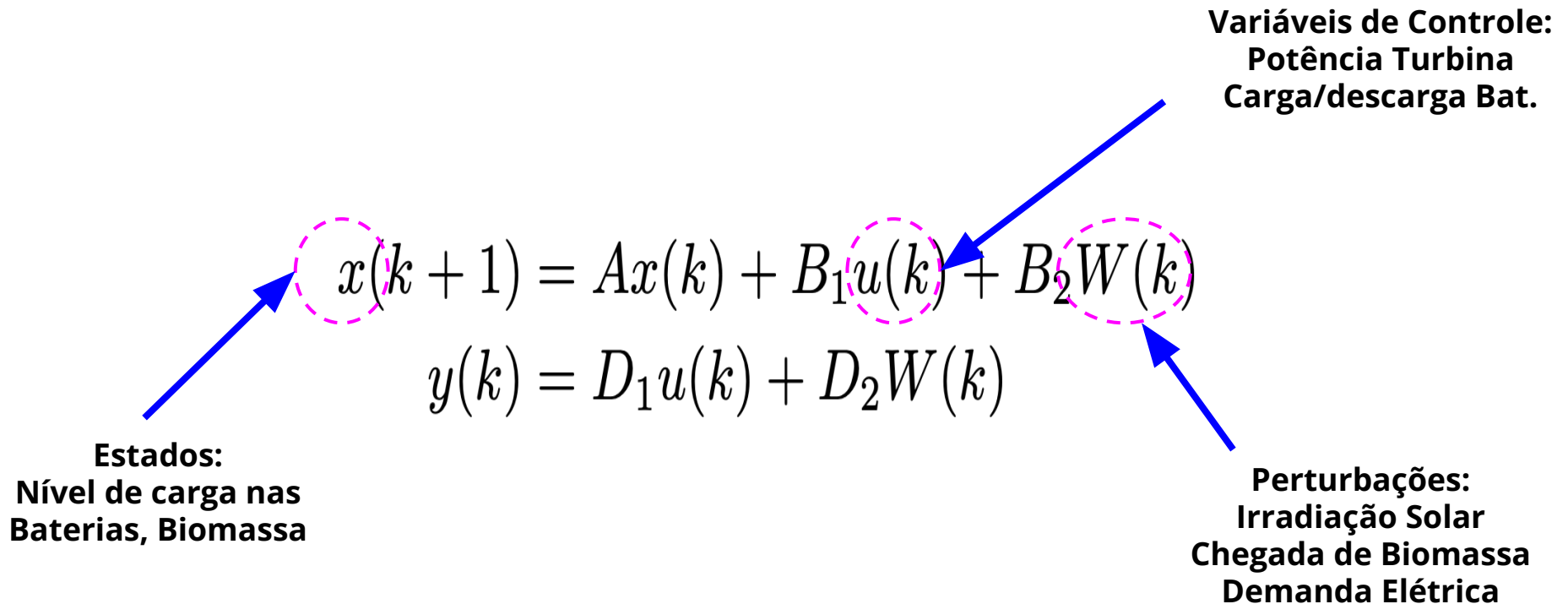
Variáveis de Controle:
Potência Turbina
Carga/descarga Bat.

$$\begin{aligned}x(k+1) &= Ax(k) + B_1u(k) + B_2W(k) \\y(k) &= D_1u(k) + D_2W(k)\end{aligned}$$

Estados:
Nível de carga nas
Baterias, Biomassa

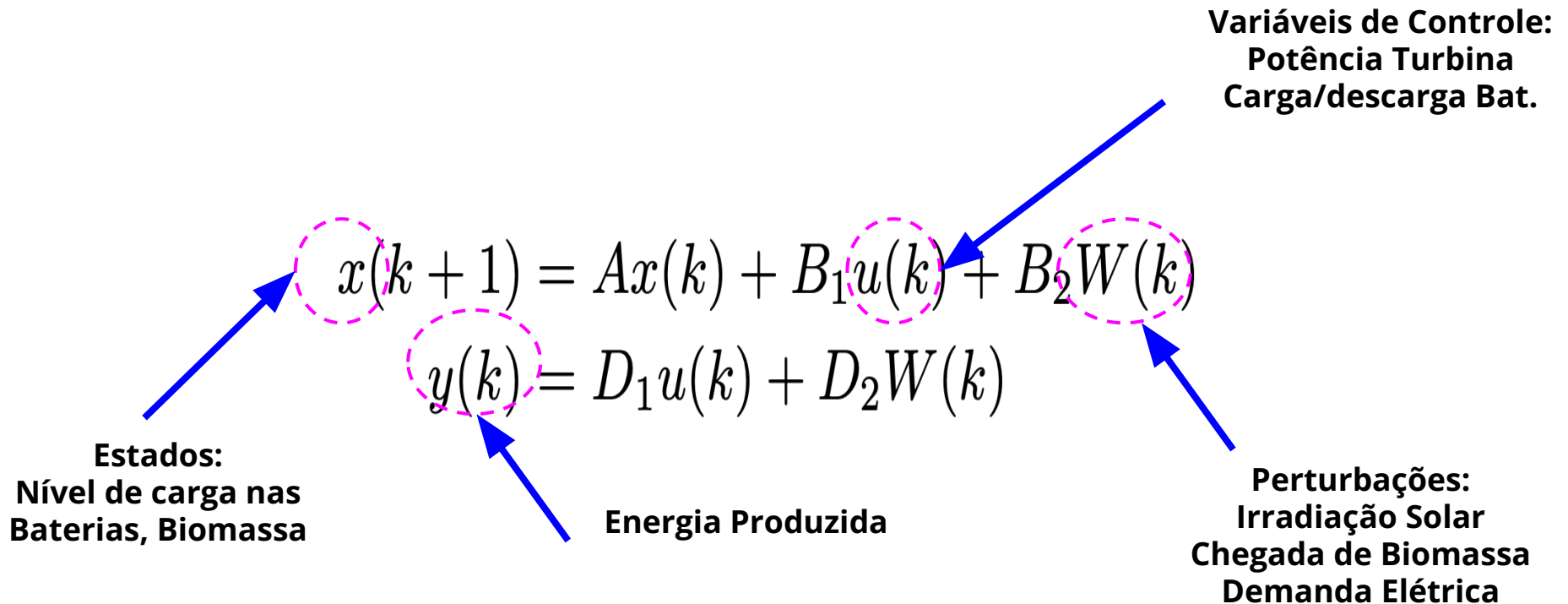
Caso de Estudo: Indústria da Cana-de-Açúcar

Resultado: Modelo em Espaço de Estados



Caso de Estudo: Indústria da Cana-de-Açúcar

Resultado: Modelo em Espaço de Estados



Caso de Estudo: Indústria da Cana-de-Açúcar

Resultado: Modelo em Espaço de Estados

$$\left. \begin{aligned} x(k+1) &= Ax(k) + B_1u(k) + B_2W(k) \\ y(k) &= D_1u(k) + D_2W(k) \end{aligned} \right\} ?$$

Caso de Estudo: Indústria da Cana-de-Açúcar

Resultado: Modelo em Espaço de Estados

$$x(k) = \begin{bmatrix} x_{Bat}(k) & x_{Bm}(k) \end{bmatrix}^T$$

$$u(k) = \begin{bmatrix} P_{Bat}(k) & P_{Turb}(k) \end{bmatrix}^T$$

$$W(k) = \begin{bmatrix} I(k) & Bm_{in}(k) & P_{Demanda}(k) \end{bmatrix}^T$$

$$x(k+1) = Ax(k) + B_1u(k) + B_2W(k)$$

$$y(k) = D_1u(k) + D_2W(k)$$

?

Caso de Estudo: Indústria da Cana-de-Açúcar

Resultado: Modelo em Espaço de Estados

$$x(k) = \begin{bmatrix} x_{Bat}(k) & x_{Bm}(k) \end{bmatrix}^T$$

$$u(k) = \begin{bmatrix} P_{Bat}(k) & P_{Turb}(k) \end{bmatrix}^T$$

$$W(k) = \begin{bmatrix} I(k) & Bm_{in}(k) & P_{Demanda}(k) \end{bmatrix}^T$$

$$x(k+1) = Ax(k) + B_1u(k) + B_2W(k)$$

$$y(k) = D_1u(k) + D_2W(k)$$

?

$$A = \begin{bmatrix} \sigma_{Bat} & 0 \\ 0 & \sigma_{Bm} \end{bmatrix}$$

$$B_1 = \begin{bmatrix} \epsilon_{Bat} & 0 \\ 0 & -\gamma_{Turb} \end{bmatrix}$$

$$D_2 = \begin{bmatrix} \gamma_{PV} & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Caso de Estudo: Indústria da Cana-de-Açúcar

Modelo

$$x(k+1) = Ax(k) + B_1u(k) + B_2W(k)$$

$$y(k) = D_1u(k) + D_2W(k)$$

Caso de Estudo: Indústria da Cana-de-Açúcar

Modelo

$$x(k+1) = Ax(k) + B_1u(k) + B_2W(k)$$

$$y(k) = D_1u(k) + D_2W(k)$$

Variáveis

$$x(k) = \begin{bmatrix} x_{Bat}(k) & x_{Bm}(k) \end{bmatrix}^T$$

$$u(k) = \begin{bmatrix} P_{Bat}(k) & P_{Turb}(k) \end{bmatrix}^T$$

$$W(k) = \begin{bmatrix} I(k) & Bm_{in}(k) & P_{Demanda}(k) \end{bmatrix}^T$$

Caso de Estudo: Indústria da Cana-de-Açúcar

Modelo

$$x(k+1) = Ax(k) + B_1u(k) + B_2W(k)$$

$$y(k) = D_1u(k) + D_2W(k)$$

Matrizes

$$A = \begin{bmatrix} \sigma_{Bat} & 0 \\ 0 & \sigma_{Bm} \end{bmatrix}, B_1 = \begin{bmatrix} \epsilon_{Bat} & 0 \\ 0 & -\gamma_{Turb} \end{bmatrix}$$

$$B_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, D_1 = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix}^T$$

$$D_2 = \begin{bmatrix} \gamma_{PV} & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Variáveis

$$x(k) = \begin{bmatrix} x_{Bat}(k) & x_{Bm}(k) \end{bmatrix}^T$$

$$u(k) = \begin{bmatrix} P_{Bat}(k) & P_{Turb}(k) \end{bmatrix}^T$$

$$W(k) = \begin{bmatrix} I(k) & Bm_{in}(k) & P_{Demanda}(k) \end{bmatrix}^T$$

Caso de Estudo: Indústria da Cana-de-Açúcar

Modelo

$$x(k+1) = Ax(k) + B_1u(k) + B_2W(k)$$

$$y(k) = D_1u(k) + D_2W(k)$$

| | |
|------------------|-----------------------|
| σ_{Bat} | 0.99 |
| σ_{Bm} | 0.83 |
| γ_{PV} | 80 hm ² |
| γ_{Turb} | -0.004 $\frac{g}{Wh}$ |
| ϵ_{Bat} | 0.93 |

Matrizes

$$A = \begin{bmatrix} \sigma_{Bat} & 0 \\ 0 & \sigma_{Bm} \end{bmatrix}, B_1 = \begin{bmatrix} \epsilon_{Bat} & 0 \\ 0 & -\gamma_{Turb} \end{bmatrix}$$

$$B_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, D_1 = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix}^T$$

$$D_2 = \begin{bmatrix} \gamma_{PV} & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Variáveis

$$x(k) = \begin{bmatrix} x_{Bat}(k) & x_{Bm}(k) \end{bmatrix}^T$$

$$u(k) = \begin{bmatrix} P_{Bat}(k) & P_{Turb}(k) \end{bmatrix}^T$$

$$W(k) = \begin{bmatrix} I(k) & Bm_{in}(k) & P_{Demanda}(k) \end{bmatrix}^T$$

O Problema de Controle

- Considerando modelos conhecidos...
- Como garantir a maximização do uso das renováveis?
- É possível satisfazer demandas sem controle direto da geração de energia?

0 Problema de Controle

Temos que:

O Problema de Controle

Temos que:

- Garantir o cumprimento de demandas locais

O Problema de Controle

Temos que:

- Garantir o cumprimento de demandas locais
- Cumprir com contrato de energia com admin. rede (venda)

O Problema de Controle

Temos que:

- Garantir o cumprimento de demandas locais
- Cumprir com contrato de energia com admin. rede (venda)
- Respeitar restrições operacionais de cada subsistema

O Problema de Controle

Temos que:

- Garantir o cumprimento de demandas locais
- Cumprir com contrato de energia com admin. rede (venda)
- Respeitar restrições operacionais de cada subsistema
- Produzir energia mesmo em períodos noturnos (ou sem sol)

O Problema de Controle

Temos que:

- Garantir o cumprimento de demandas locais
- Cumprir com contrato de energia com admin. rede (venda)
- Respeitar restrições operacionais de cada subsistema
- Produzir energia mesmo em períodos noturnos (ou sem sol)

Matematicamente:

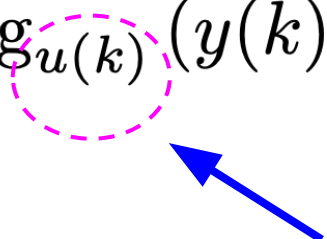
$$\arg_{u(k)} (y(k) = \omega(k)) \quad \forall k$$

O Problema de Controle

Temos que:

- Garantir o cumprimento de demandas locais
- Cumprir com contrato de energia com admin. rede (venda)
- Respeitar restrições operacionais de cada subsistema
- Produzir energia mesmo em períodos noturnos (ou sem sol)

Matematicamente:

$$\arg_{u(k)} (y(k) = \omega(k)) \quad \forall k$$


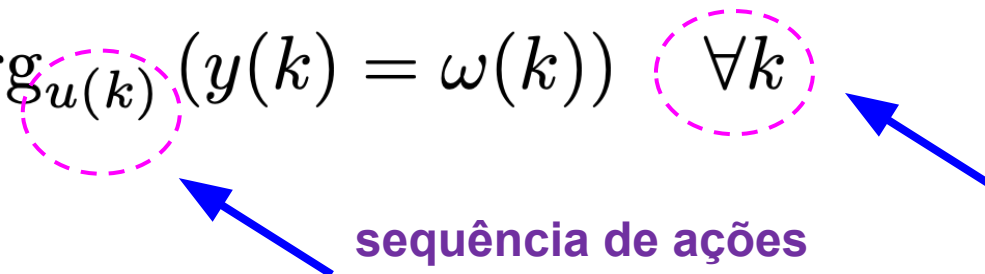
sequência de ações

O Problema de Controle

Temos que:

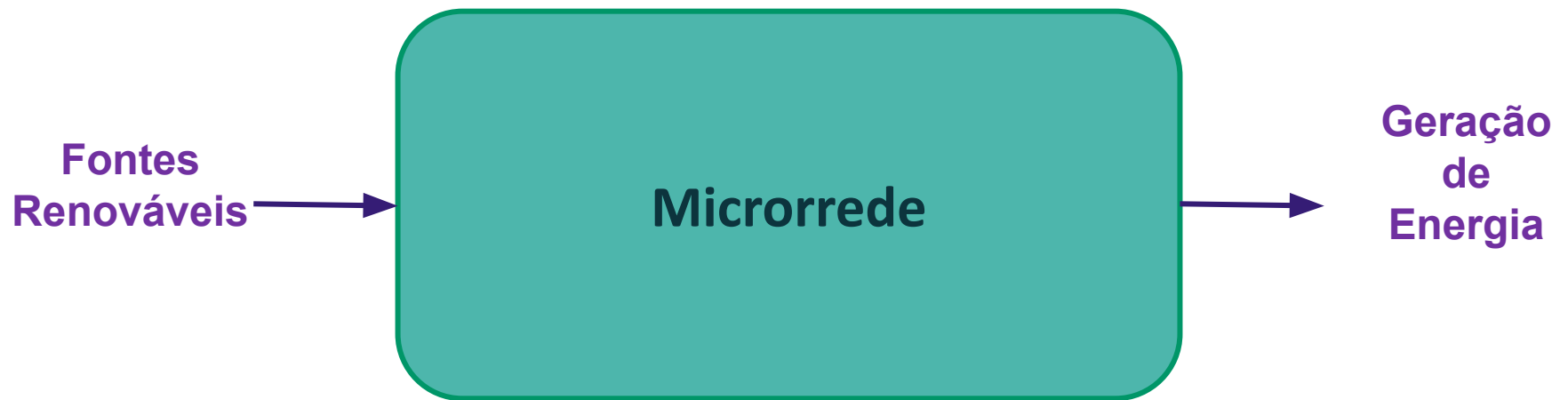
- Garantir o cumprimento de demandas locais
- Cumprir com contrato de energia com admin. rede (venda)
- Respeitar restrições operacionais de cada subsistema
- Produzir energia mesmo em períodos noturnos (ou sem sol)

Matematicamente:

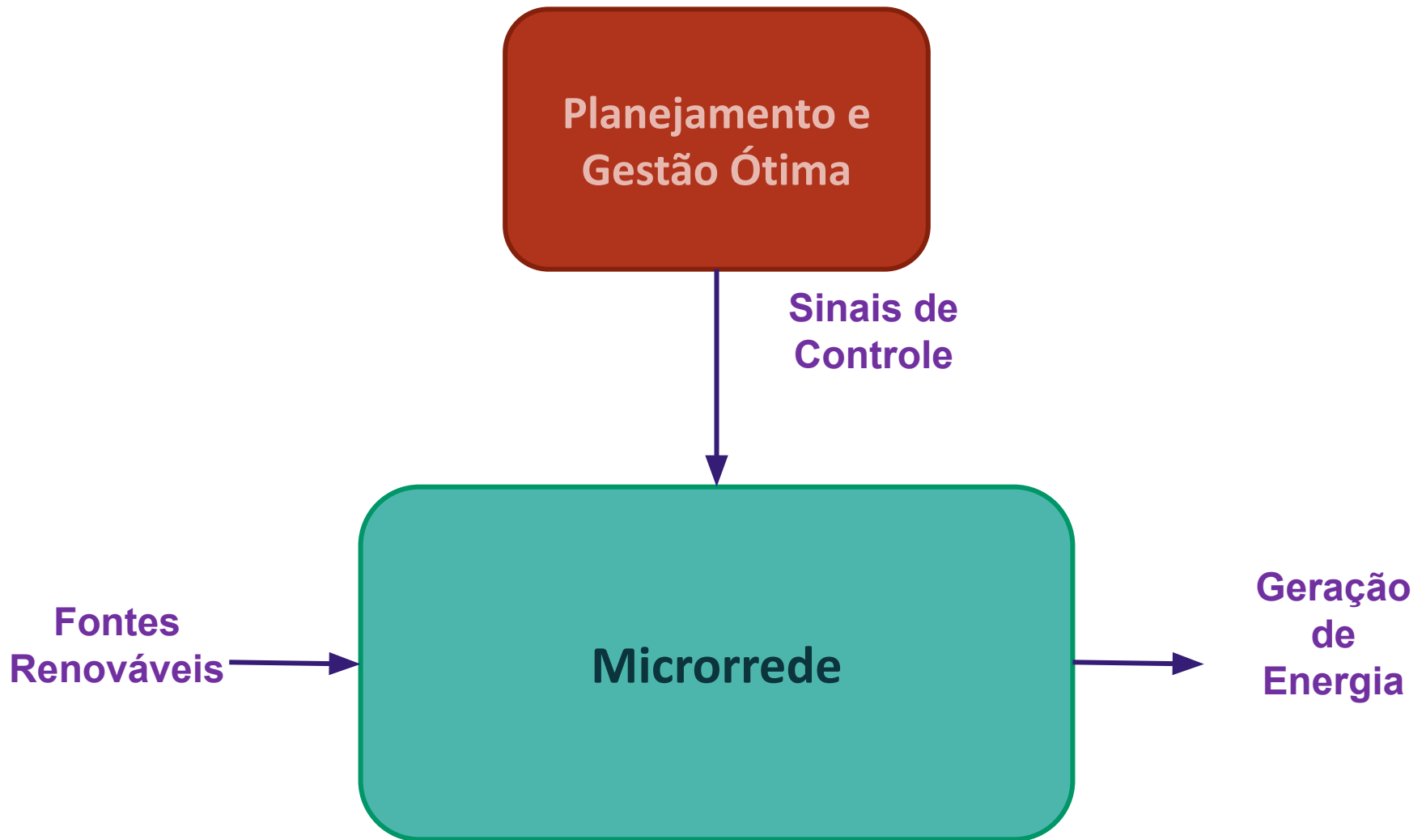
$$\arg_{u(k)} (y(k) = \omega(k)) \quad \forall k$$


sequência de ações

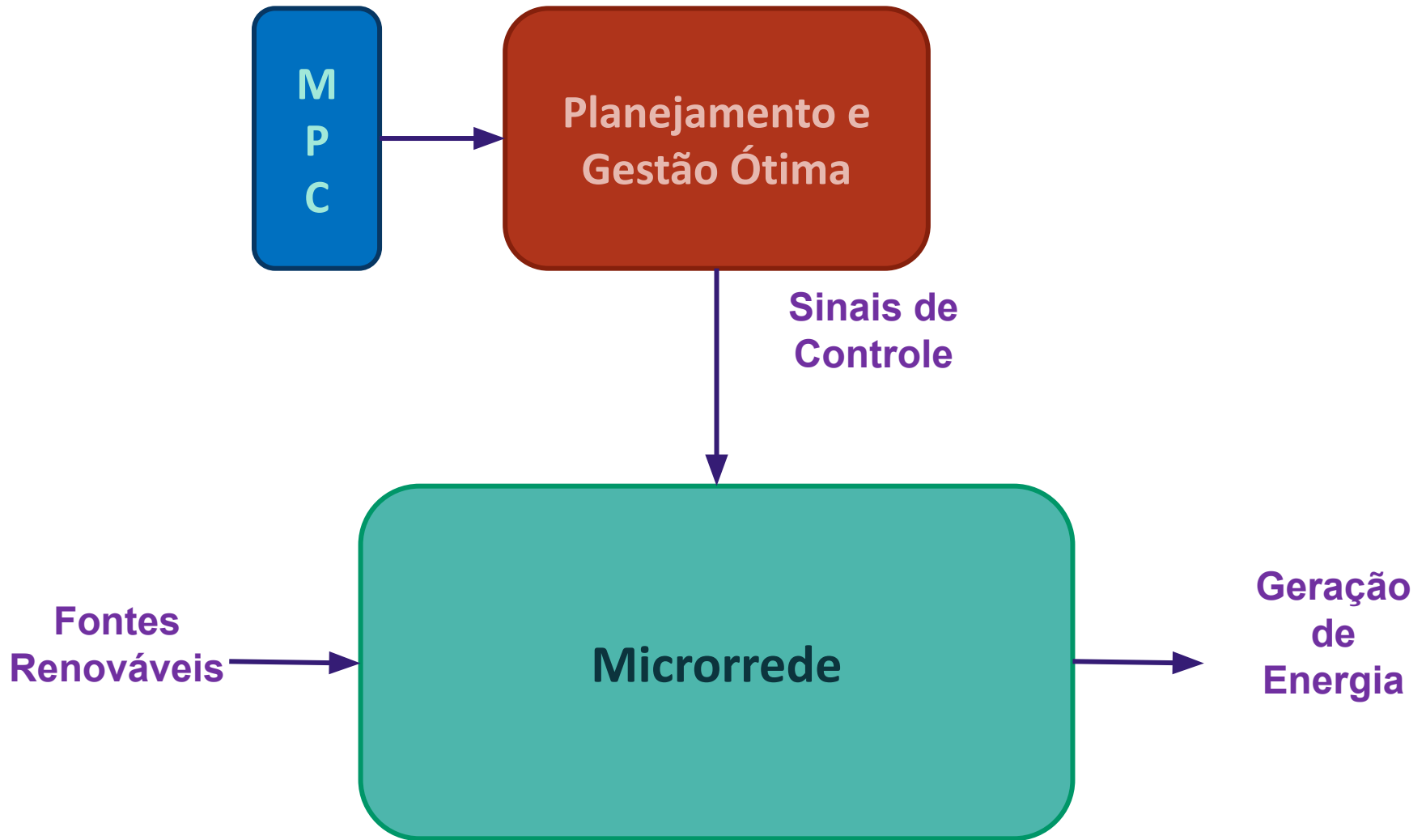
O Problema de Controle



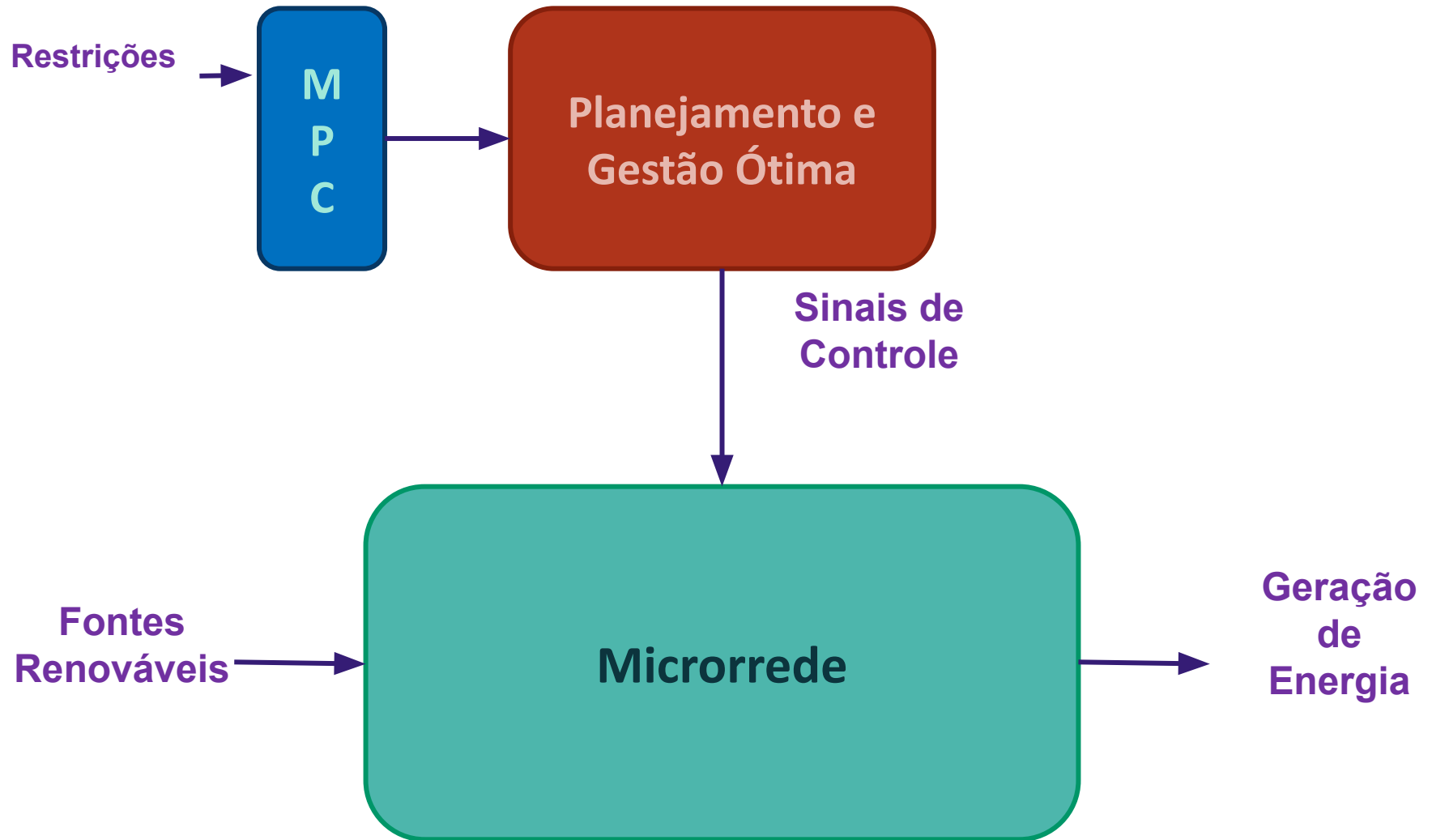
O Problema de Controle



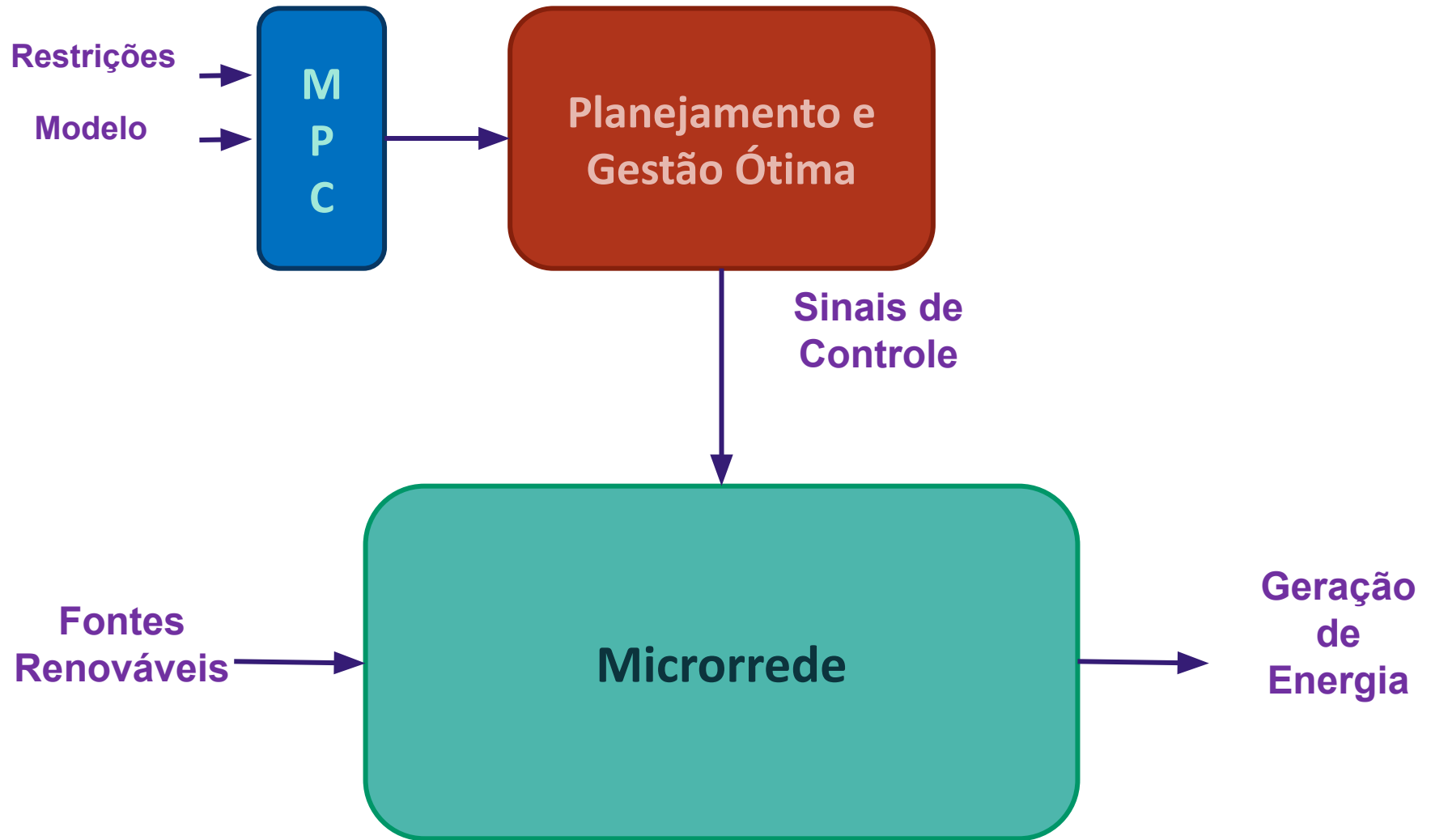
O Problema de Controle



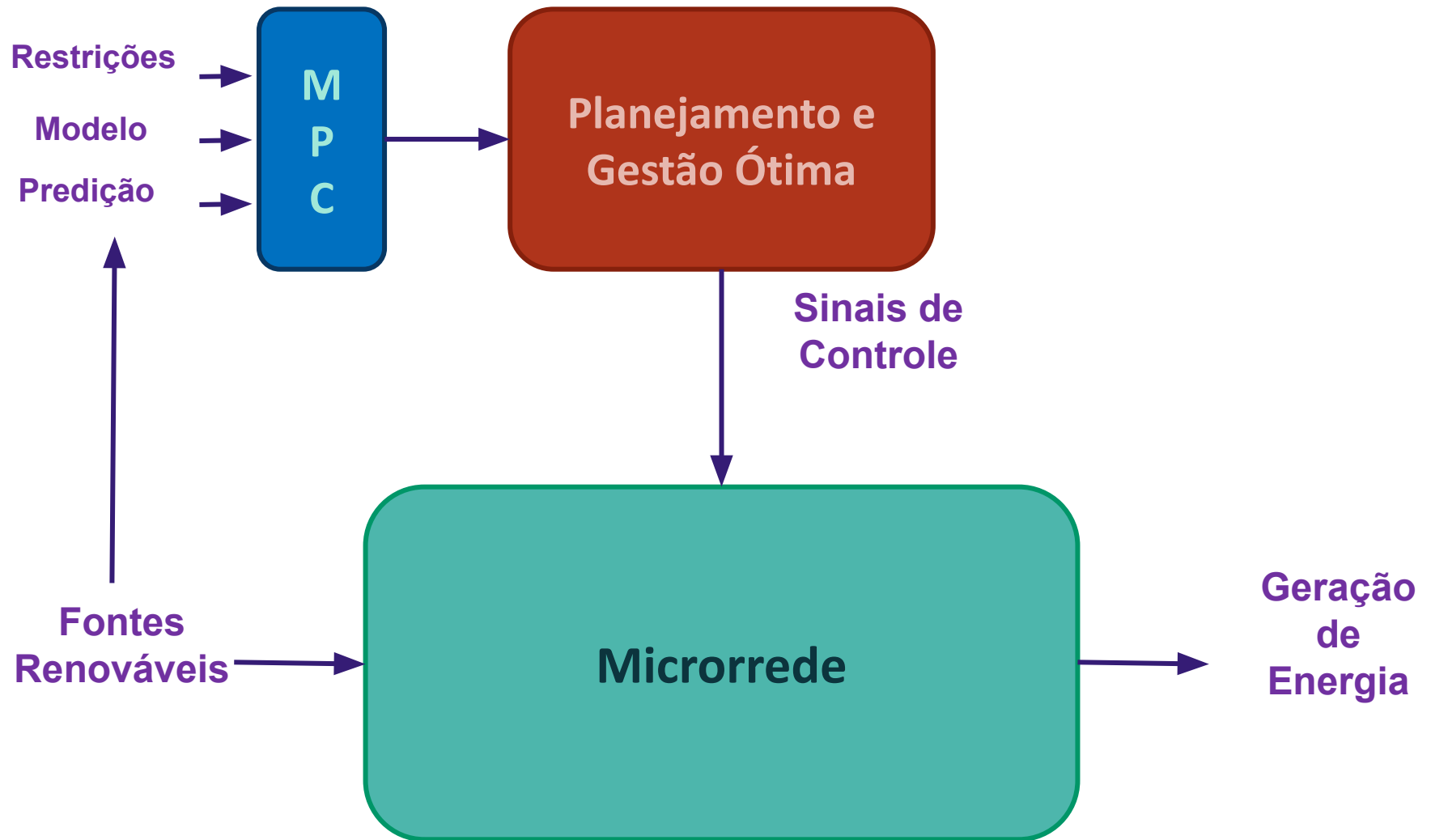
O Problema de Controle



O Problema de Controle



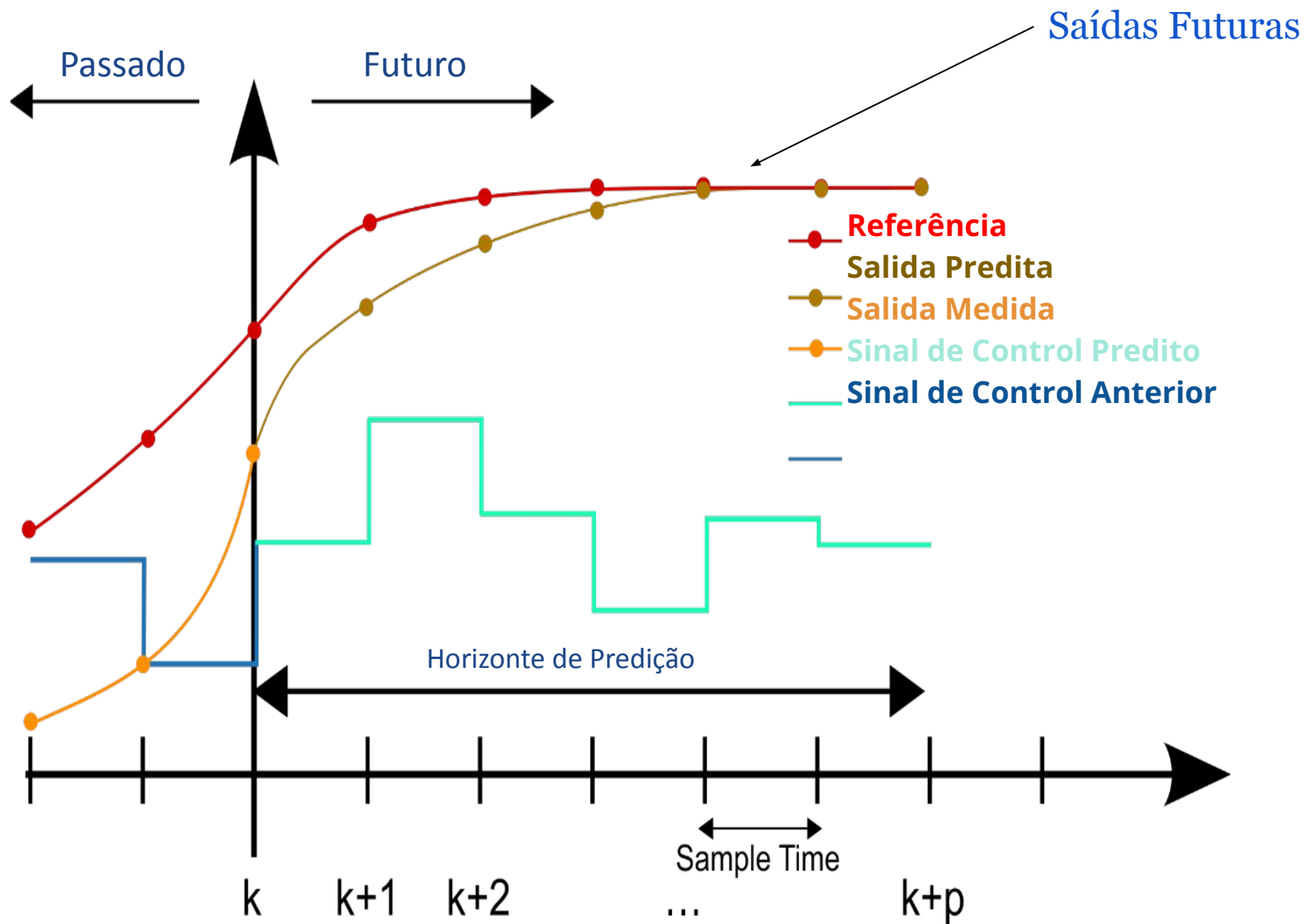
O Problema de Controle



Controle Preditivo baseado em Modelo

- Com base no modelo, faz-se uma predição do comportamento futuro de processo
- Objetivos de controle → Função de custo J
- Encontramos a sequência de ações que minimiza J

Controle Preditivo baseado em Modelo



Controle Preditivo baseado em Modelo

$$J = \sum_{i=1}^{N_p} (\|y(k+i) - \omega(k+i)\|_Q^2 + \|u(k+i-1)\|_R^2)$$

Controle Preditivo baseado em Modelo

$$J = \sum_{i=1}^{N_p} \left(\overbrace{\|y(k+i) - \omega(k+i)\|_Q^2}^{\substack{\text{Energia} \\ \text{produzida}}} + \overbrace{\|u(k+i-1)\|_R^2}^{\substack{\text{Contrato com} \\ \text{Admin Rede}}} \right)$$

Controle Preditivo baseado em Modelo

$$J = \sum_{i=1}^{N_p} \left(\underbrace{\left(\overbrace{\|y(k+i) - \omega(k+i)\|_Q^2}^{\substack{\text{Energia} \\ \text{produzida}}} - \overbrace{\omega(k+i)}^{\substack{\text{Contrato com} \\ \text{Admin Rede}}} \right)}_{\text{"erro"}} + \|u(k+i-1)\|_R^2 \right)$$

Controle Preditivo baseado em Modelo

$$J = \sum_{i=1}^{N_p} \left(\underbrace{\| \overbrace{y(k+i)}^{\text{Energia produzida}} - \overbrace{\omega(k+i)}^{\text{Contrato com Admin Rede}} \|_Q^2}_{\text{"erro"}} + \underbrace{\| u(k+i-1) \|_R^2}_{\text{controle}} \right)$$

Controle Preditivo baseado em Modelo

The diagram illustrates the cost function J for Model Predictive Control (MPC). The equation is
$$J = \sum_{i=1}^{N_p} (\underbrace{\|y(k+i) - \omega(k+i)\|_Q^2}_{\text{"erro"}} + \underbrace{\|u(k+i-1)\|_R^2}_{\text{controle}})$$
 Annotations include:

- A red arrow labeled "horizonte" pointing to the prediction horizon N_p , which is enclosed in a dashed yellow circle.
- Blue text "Energia produzida" above the $y(k+i)$ term.
- Blue text "Contrato com Admin Rede" above the $\omega(k+i)$ term.
- Orange curly braces grouping the error and control terms, labeled "erro" and "controle" respectively in blue.

horizonte

Energia produzida

Contrato com Admin Rede

$$J = \sum_{i=1}^{N_p} (\|y(k+i) - \omega(k+i)\|_Q^2 + \|u(k+i-1)\|_R^2)$$

"erro"

controle

Controle Preditivo baseado em Modelo

The diagram illustrates the cost function J for Model Predictive Control, with various components annotated in Portuguese:

- horizonte** (horizon): Points to the summation index N_p , which is enclosed in a dashed yellow circle.
- Energia produzida** (energy produced): Points to the term $y(k+i)$ within the error norm.
- Contrato com Admin Rede** (contract with Admin Network): Points to the term $\omega(k+i)$ within the error norm.
- “erro”** (error): A bracket under the entire first term $\|y(k+i) - \omega(k+i)\|_Q^2$.
- controle** (control): A bracket under the second term $\|u(k+i-1)\|_R^2$.
- ponderações** (weights): Two arrows point to the matrices Q and R in the denominators of the squared norms.

$$J = \sum_{i=1}^{N_p} \left(\|y(k+i) - \omega(k+i)\|_Q^2 + \|u(k+i-1)\|_R^2 \right)$$

Controle Preditivo baseado em Modelo

The diagram illustrates the cost function J for Model Predictive Control (MPC). The function is defined as:

$$J = \sum_{i=1}^{N_p} \left(\underbrace{\|y(k+i) - \omega(k+i)\|_Q^2}_{\text{"erro"}} + \underbrace{\|u(k+i-1)\|_R^2}_{\text{controle}} \right)$$

Annotations and their meanings:

- horizonte**: Points to the prediction horizon N_p , which is enclosed in a dashed yellow circle.
- Energia produzida**: Points to the output $y(k+i)$ in the error term.
- Contrato com Admin Rede**: Points to the reference $\omega(k+i)$ in the error term.
- restrições**: Points to the constraints listed below the equation.
- ponderações**: Points to the weighting matrices Q and R in the cost function.

The constraints (restrições) are:

$$\begin{aligned} \underline{u} &\leq u(k+i-1) \leq \bar{u} \\ \underline{x} &\leq x(k+i) \leq \bar{x} \\ \underline{y} &\leq y(k+i) \leq \bar{y} \end{aligned}$$

Controle Preditivo baseado em Modelo

Problema de
Otimização
Quadrática

Diagram illustrating the Quadratic Optimization Problem for Model Predictive Control (MPC).

The cost function J is defined as:

$$J = \sum_{i=1}^{N_p} \left(\underbrace{\|y(k+i) - \omega(k+i)\|_Q^2}_{\text{"erro"}} + \underbrace{\|u(k+i-1)\|_R^2}_{\text{controle}} \right)$$

Annotations:

- horizonte**: Points to the prediction horizon N_p .
- Energia produzida**: Points to the predicted output $y(k+i)$.
- Contrato com Admin Rede**: Points to the reference $\omega(k+i)$.
- ponderações**: Points to the weighting matrices Q and R .

restrições

$$\begin{aligned} \underline{u} &\leq u(k+i-1) \leq \bar{u} \\ \underline{x} &\leq x(k+i) \leq \bar{x} \\ \underline{y} &\leq y(k+i) \leq \bar{y} \end{aligned}$$

Controle Preditivo baseado em Modelo

$$\sum_{i=1}^{N_p} (\|y(k+i) - \omega(k+i)\|_Q^2)$$

Satisfazer o contrato de geração
de energia

Controle Preditivo baseado em Modelo

$$\sum_{i=1}^{N_p} (\|y(k+i) - \omega(k+i)\|_Q^2)$$

Satisfazer o contrato de geração de energia

$$\sum_{i=1}^{N_p} (\|u(k+i-1)\|_R^2)$$

Minimizar o uso dos subsistemas (bateria, turbina)

Controle Preditivo baseado em Modelo

$$\sum_{i=1}^{N_p} (\|y(k+i) - \omega(k+i)\|_Q^2)$$

Satisfazer o contrato de geração de energia

Ponderação Regulável

$$\sum_{i=1}^{N_p} (\|u(k+i-1)\|_R^2)$$

Minimizar o uso dos subsistemas (bateria, turbina)

Controle Preditivo baseado em Modelo

$$\underline{x} < x(k) < \overline{x} \}$$

Estados dentro de uma
zona de operação factível

Controle Preditivo baseado em Modelo

$$\underline{x} < x(k) < \overline{x} \}$$

Estados dentro de uma
zona de operação factível

$$\underline{u} < \begin{bmatrix} P_{Turb}(k) \\ P_{Bat}(k) \end{bmatrix} < \overline{u} \}$$

Variáveis de controle dentro
de zona de operação
factível

Controle Preditivo baseado em Modelo

$$\underline{x} < x(k) < \bar{x} \}$$

Estados dentro de uma
zona de operação factível

$$\underline{u} < \begin{bmatrix} P_{Turb}(k) \\ P_{Bat}(k) \end{bmatrix} < \bar{u} \}$$

Variáveis de controle dentro
de zona de operação
factível

$$\underline{y} \leq y(k) \leq \bar{y} \}$$

Zona de produção de
energia

Controle Preditivo baseado em Modelo

$$\forall i = 1, \dots, N_p$$

$$\min_U \sum_{i=1}^{N_p} (\|y(k+i) - \omega(k+i)\|_Q^2 + \|u(k+i-1)\|_R^2)$$

$$\text{Tal que } x(k+i+1) = Ax(k+i) + B_1u(k+i) + B_2W(k+i)$$

$$y(k+i) = D_1u(k+i) + D_2W(k+i)$$

$$\underline{u} \leq u(k+i-1) \leq \bar{u}$$

$$\underline{x} \leq x(k+i) \leq \bar{x}$$

$$\underline{y} \leq y(k+i) \leq \bar{y}$$

Controle Preditivo baseado em Modelo

$$\forall i = 1, \dots, N_p$$

$$\min_U \sum_{i=1}^{N_p} (\|y(k+i) - \omega(k+i)\|_Q^2 + \|u(k+i-1)\|_R^2)$$

$$\text{Tal que } x(k+i+1) = Ax(k+i) + B_1u(k+i) + B_2W(k+i)$$

$$y(k+i) = D_1u(k+i) + D_2W(k+i)$$

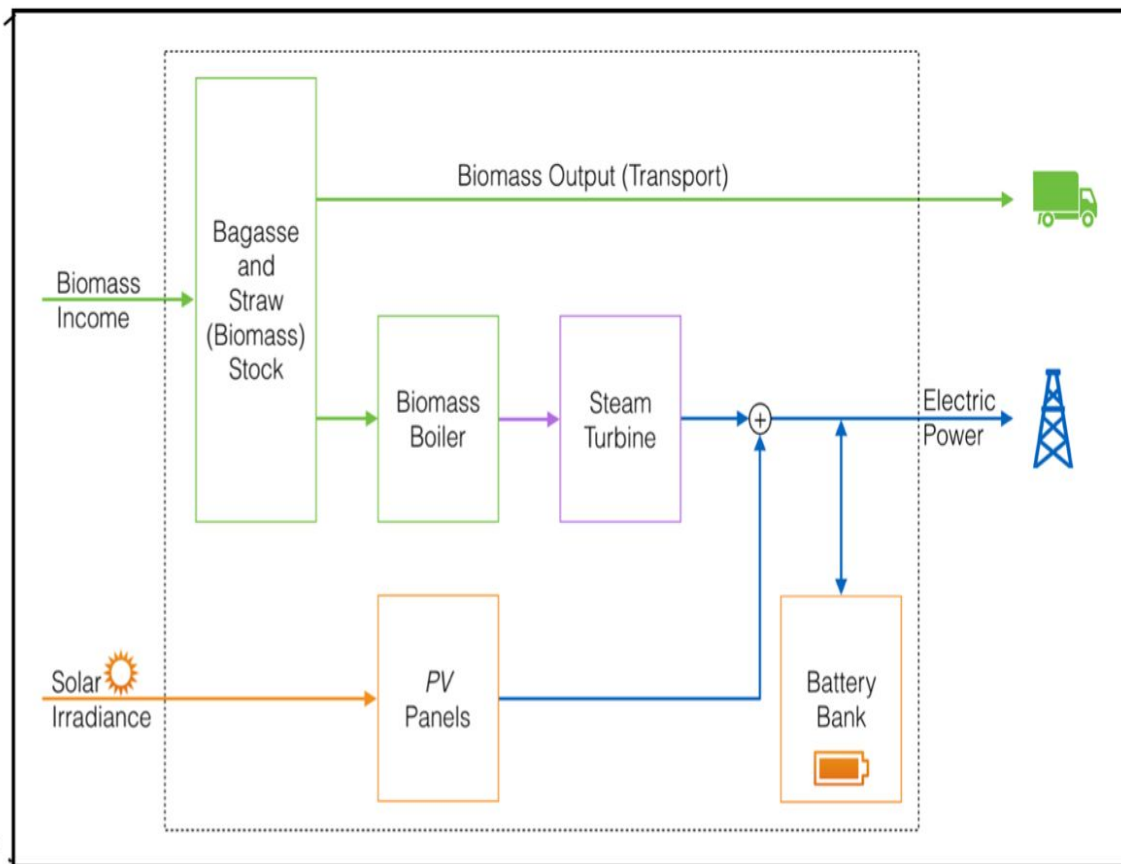
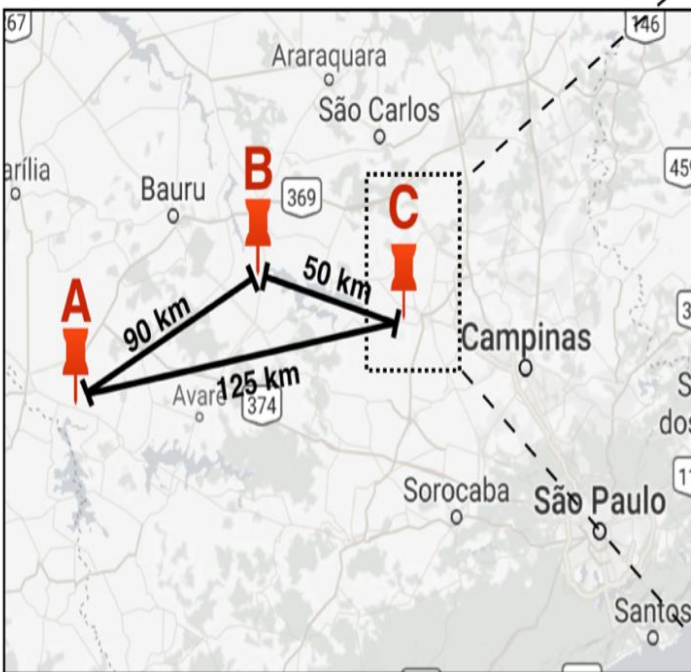
$$\underline{u} \leq u(k+i-1) \leq \bar{u}$$

$$\underline{x} \leq x(k+i) \leq \bar{x}$$

$$\underline{y} \leq y(k+i) \leq \bar{y}$$

Predição das variáveis
renováveis futuras
(Irradiação Solar)

Retornando ao Caso de Estudo...



Retornando ao Caso de Estudo... com MPC

A Cada Iteração (hora), resolvemos:

$$\min_U \sum_{i=1}^{N_p} (\|y(k+i) - \omega(k+i)\|_Q^2 + \|u(k+i-1)\|_R^2)$$

$$\text{Tal que } x(k+i+1) = Ax(k+i) + B_1u(k+i) + B_2W(k+i)$$

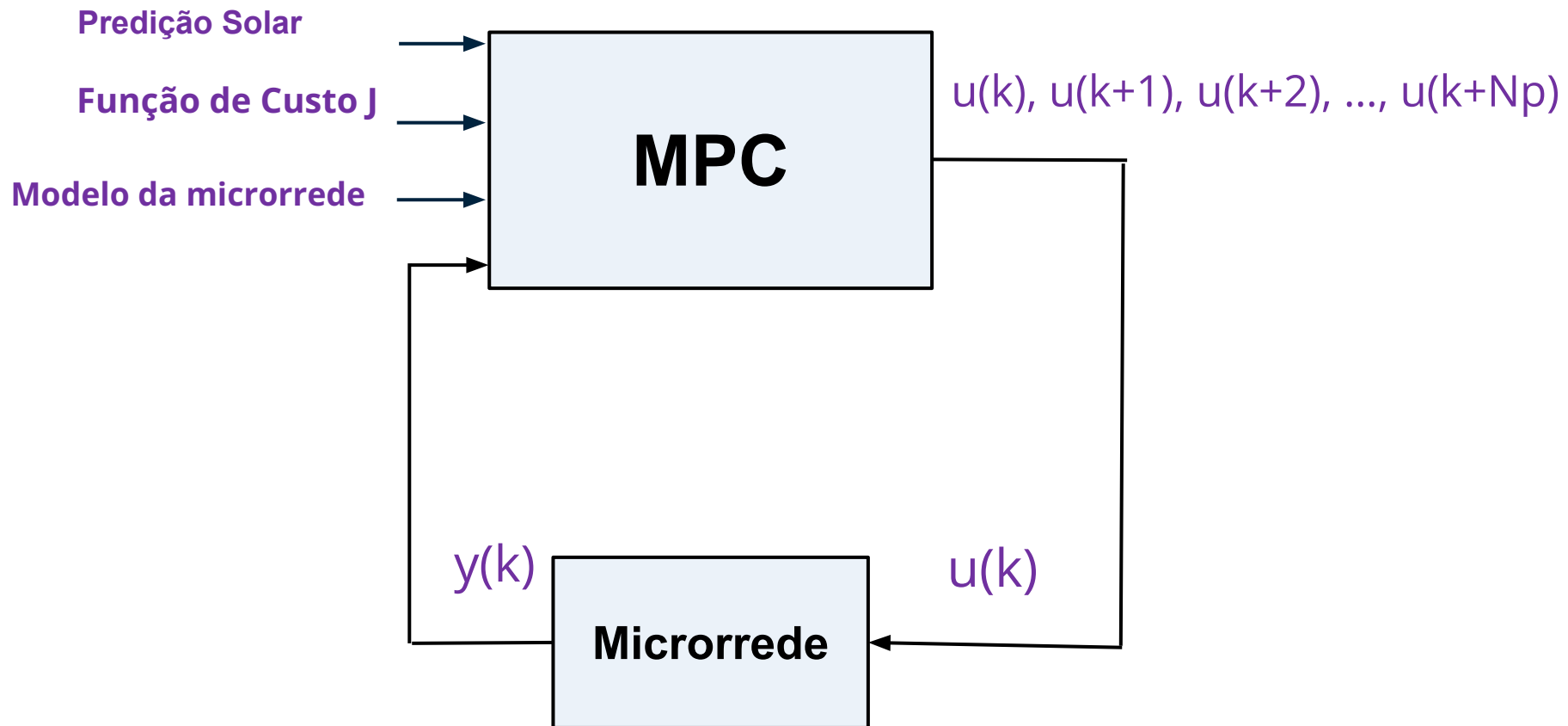
$$y(k+i) = D_1u(k+i) + D_2W(k+i)$$

$$\underline{u} \leq u(k+i-1) \leq \bar{u}$$

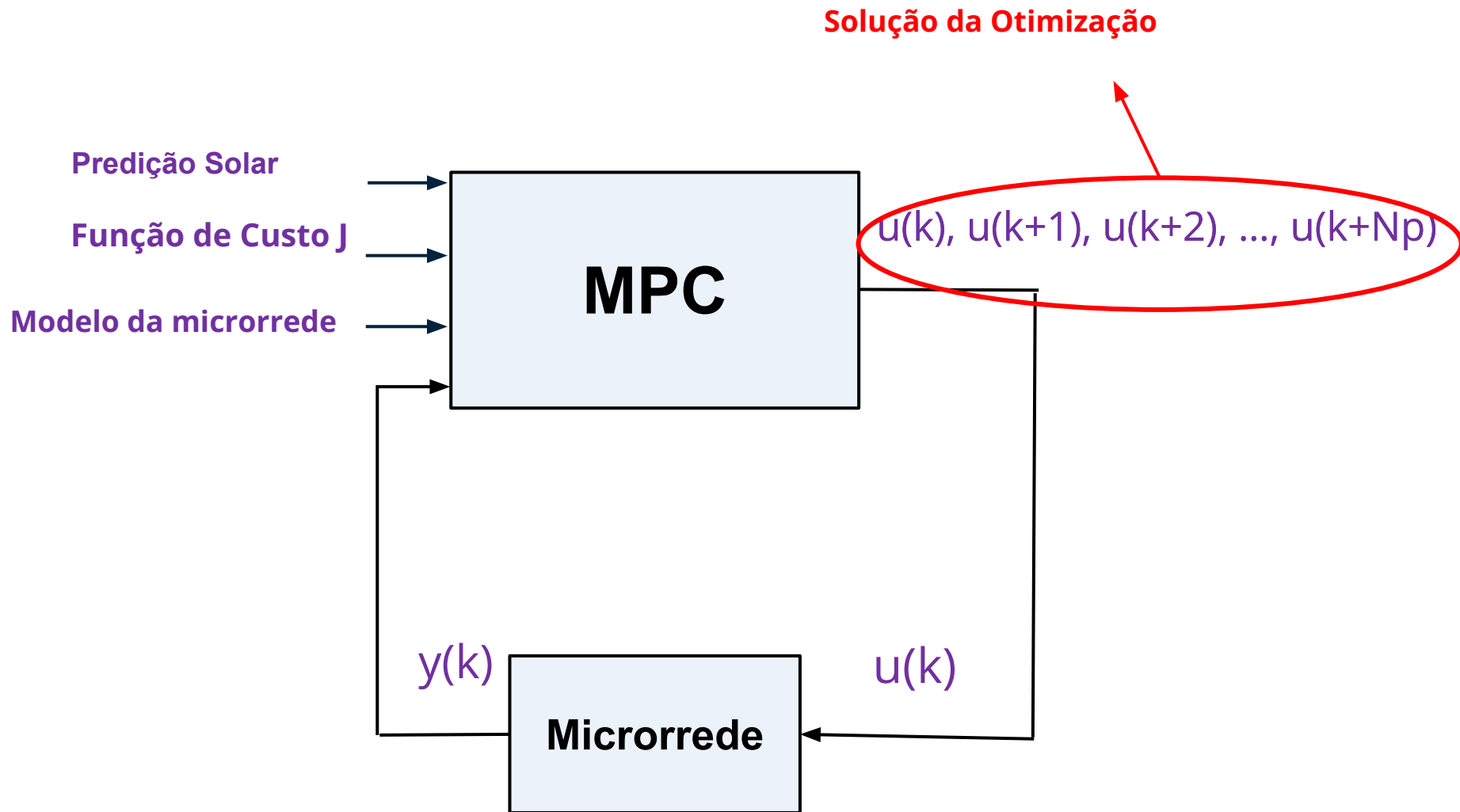
$$\underline{x} \leq x(k+i) \leq \bar{x}$$

$$\underline{y} \leq y(k+i) \leq \bar{y}$$

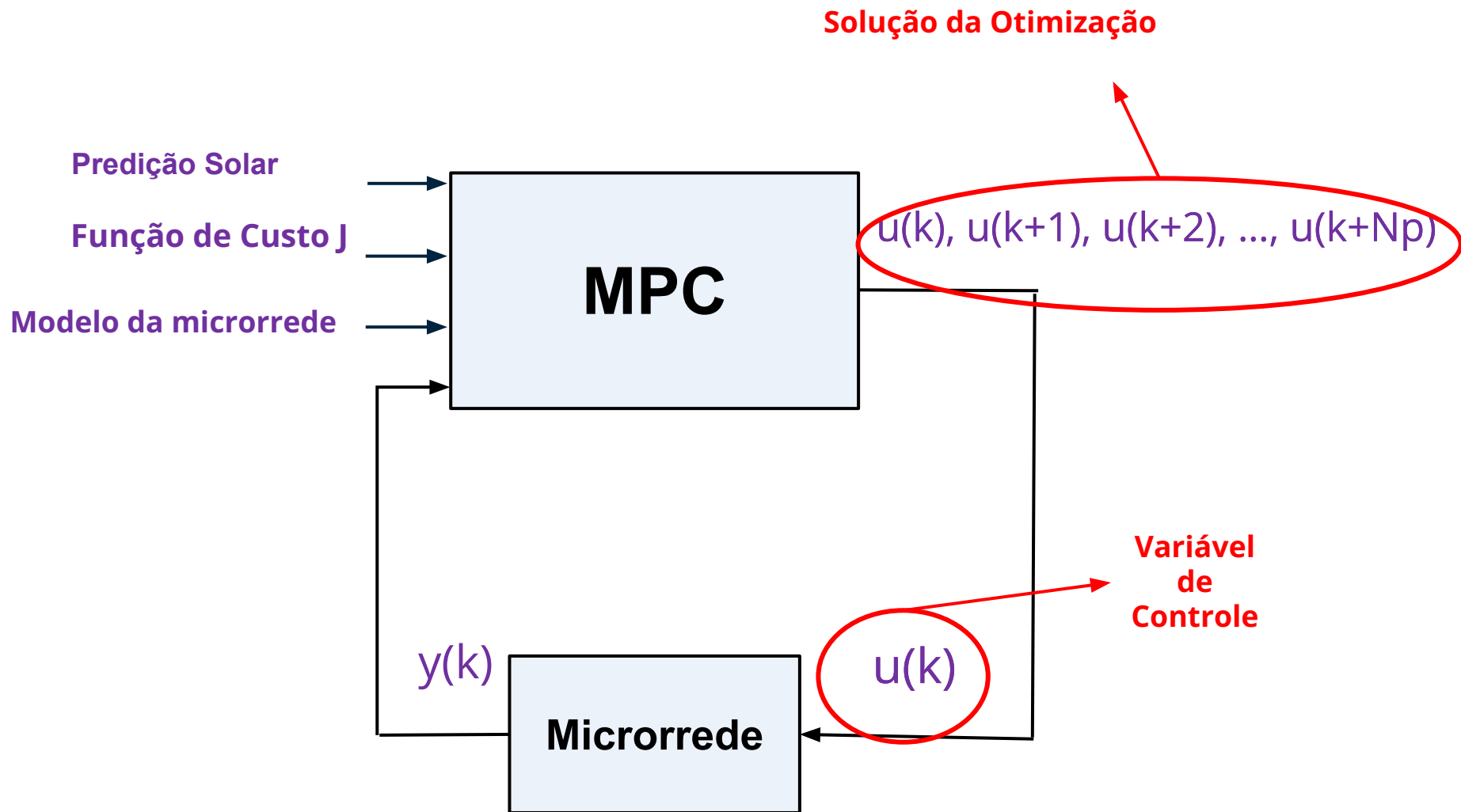
Retornando ao Caso de Estudo... com MPC



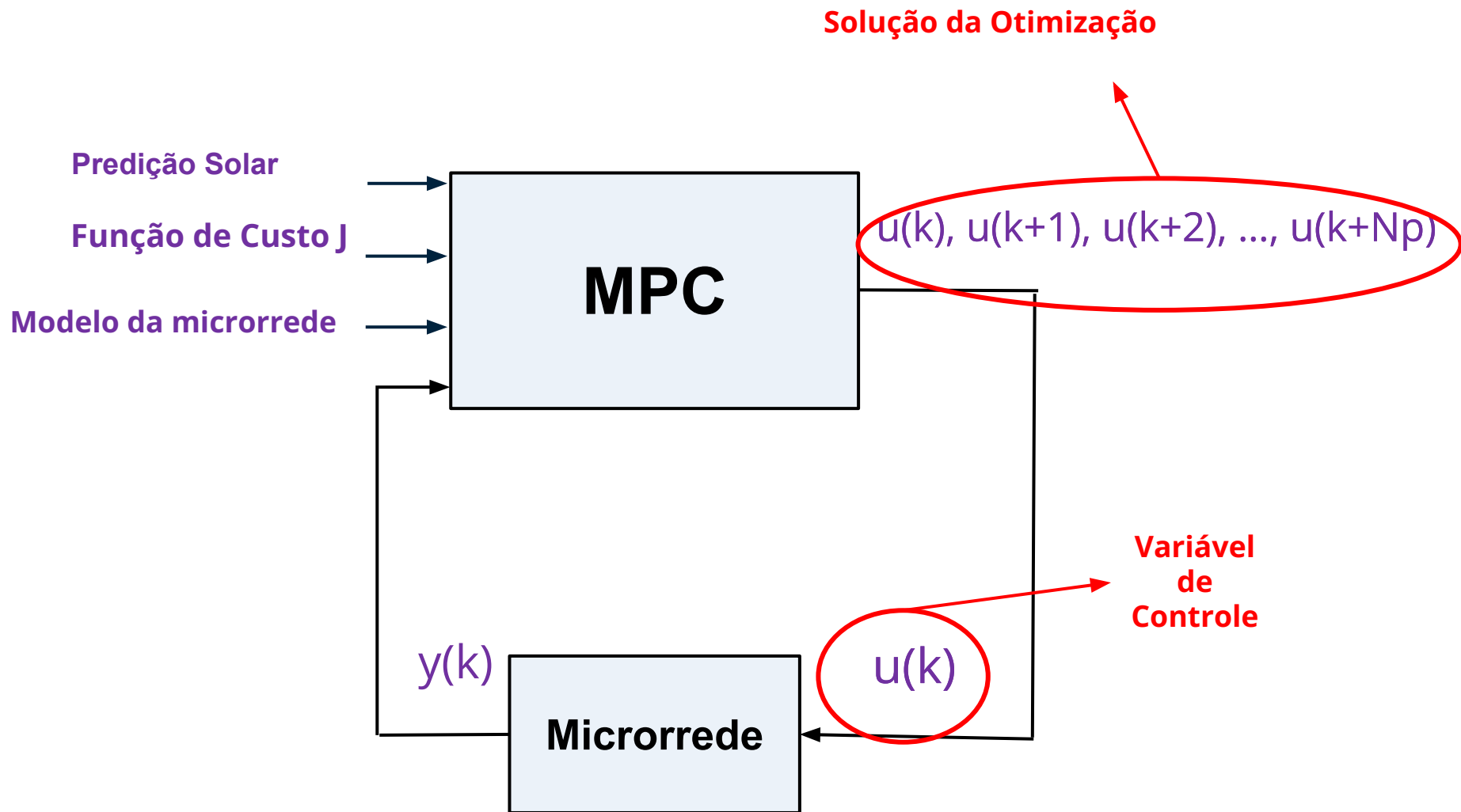
Retornando ao Caso de Estudo... com MPC



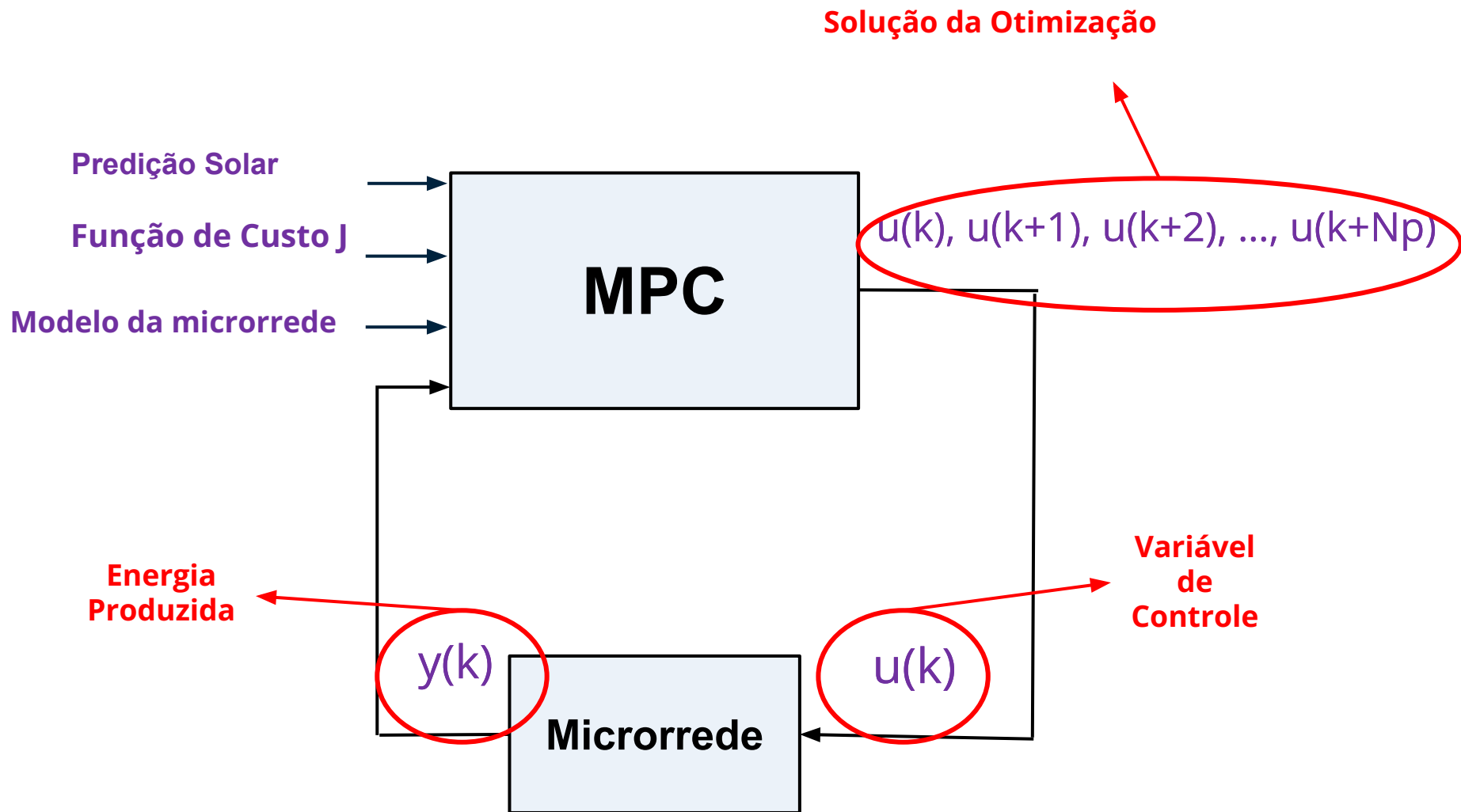
Retornando ao Caso de Estudo... com MPC



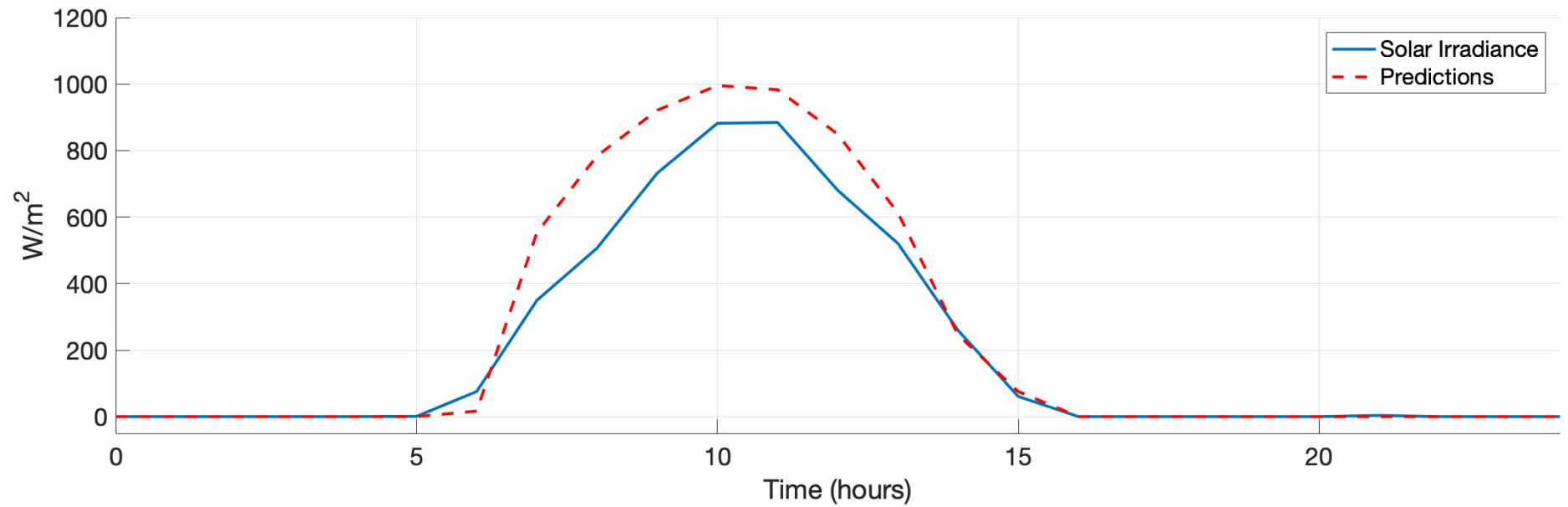
Retornando ao Caso de Estudo... com MPC



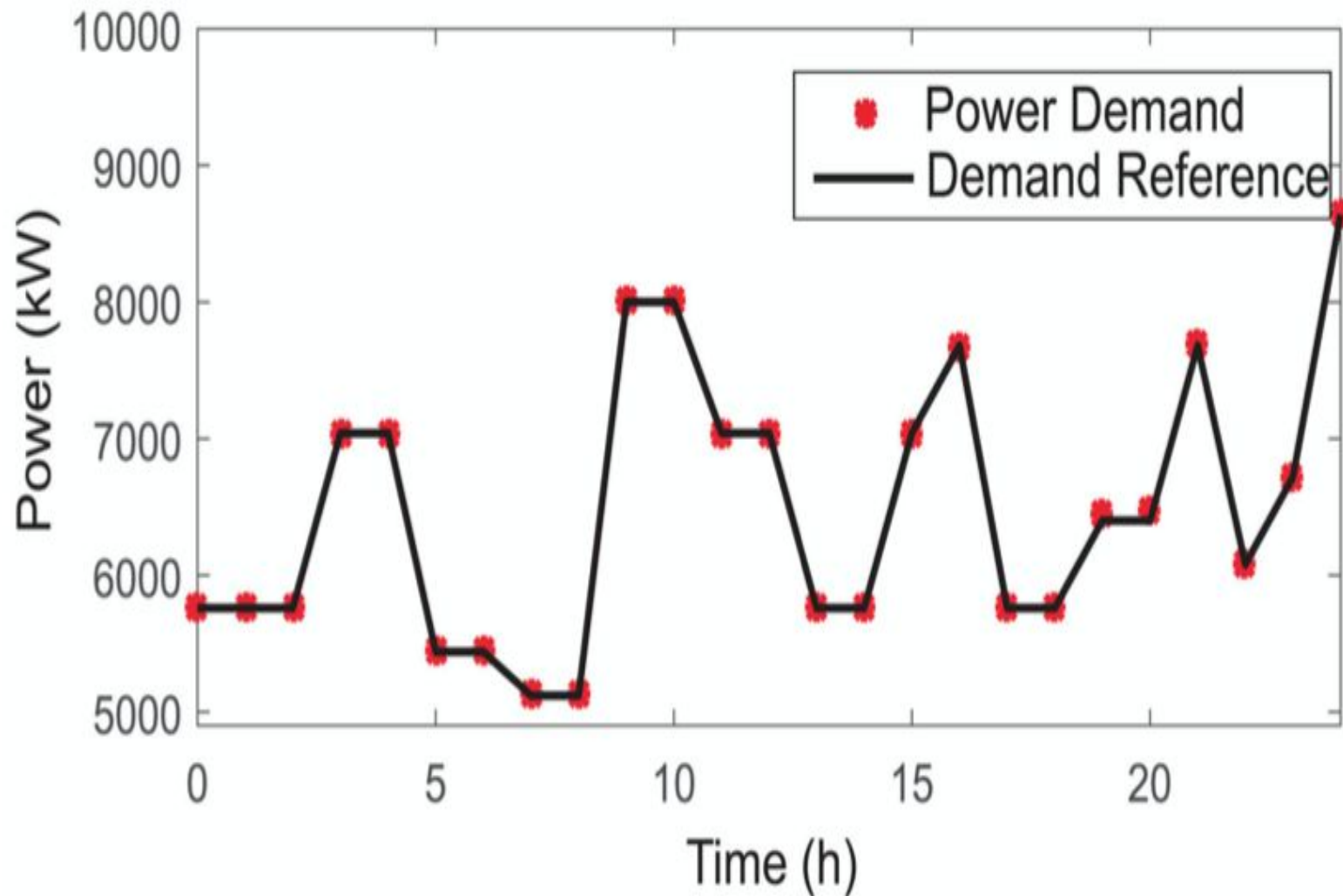
Retornando ao Caso de Estudo... com MPC



Retornando ao Caso de Estudo... com MPC



Retornando ao Caso de Estudo... com MPC



Outros Estudos

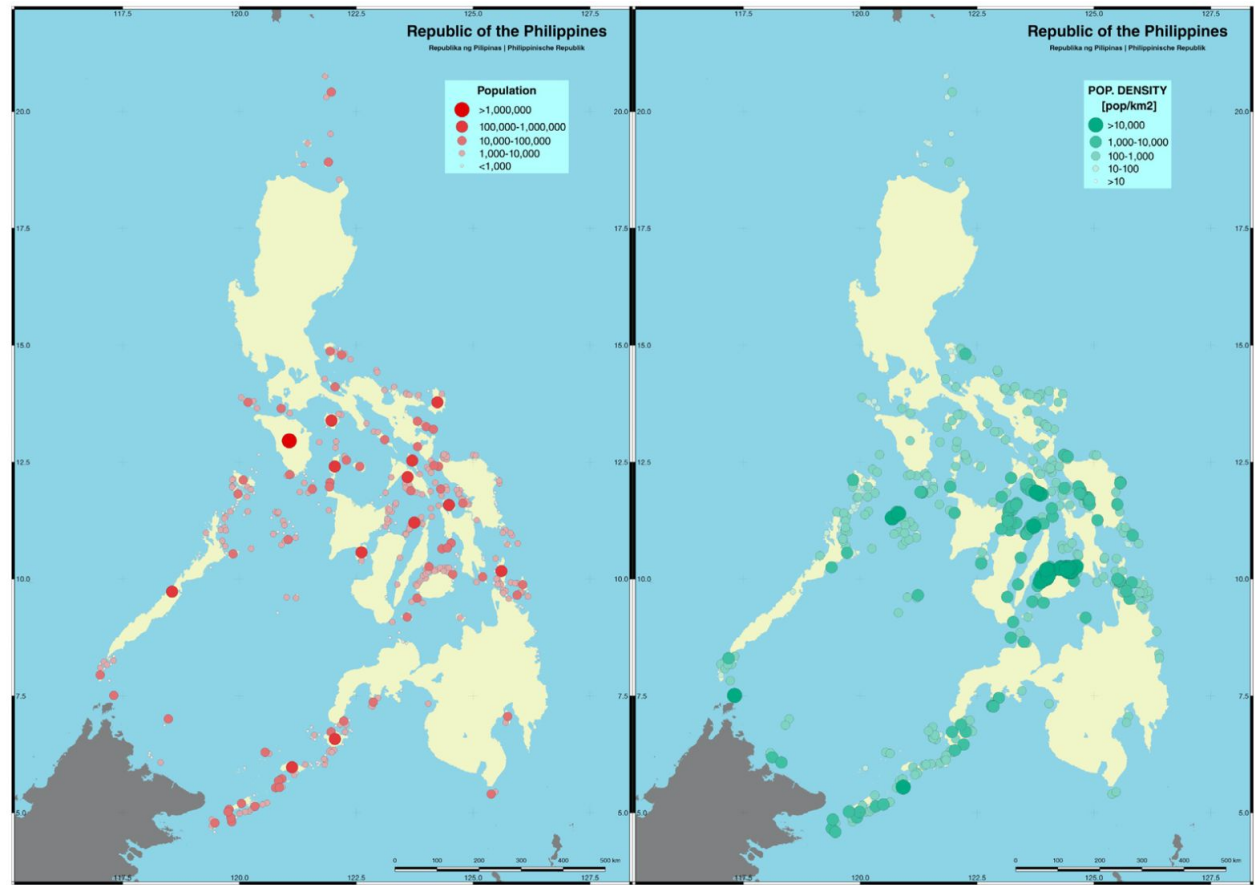
Geração Eólica com armazenamento de carga em Hidrogênio

Plantas de dessalinização com energia solar

Plantas Isoladas (Ilhas)

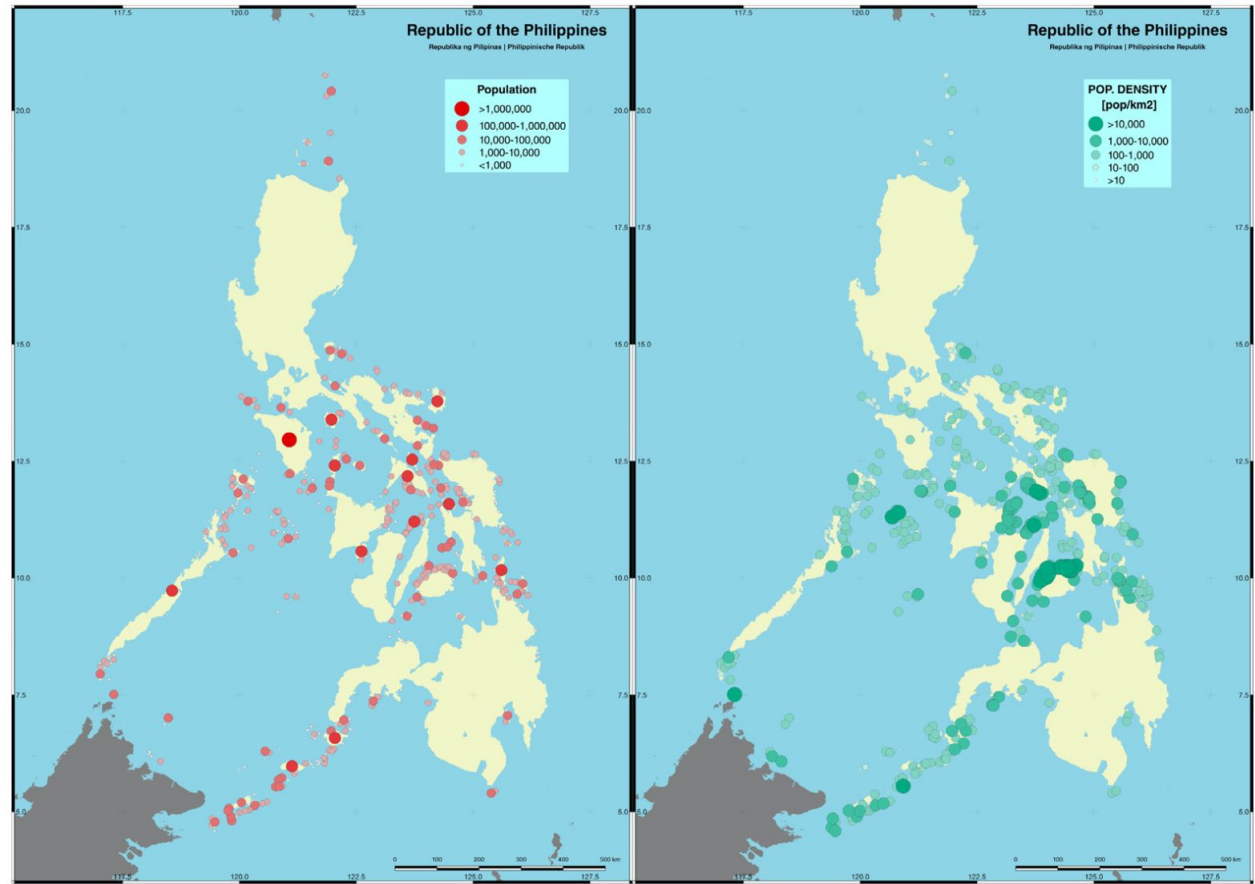
Plantas solares-térmicas para geração de energia elétrica

Ilhas das Filipinas



Ilhas das Filipinas

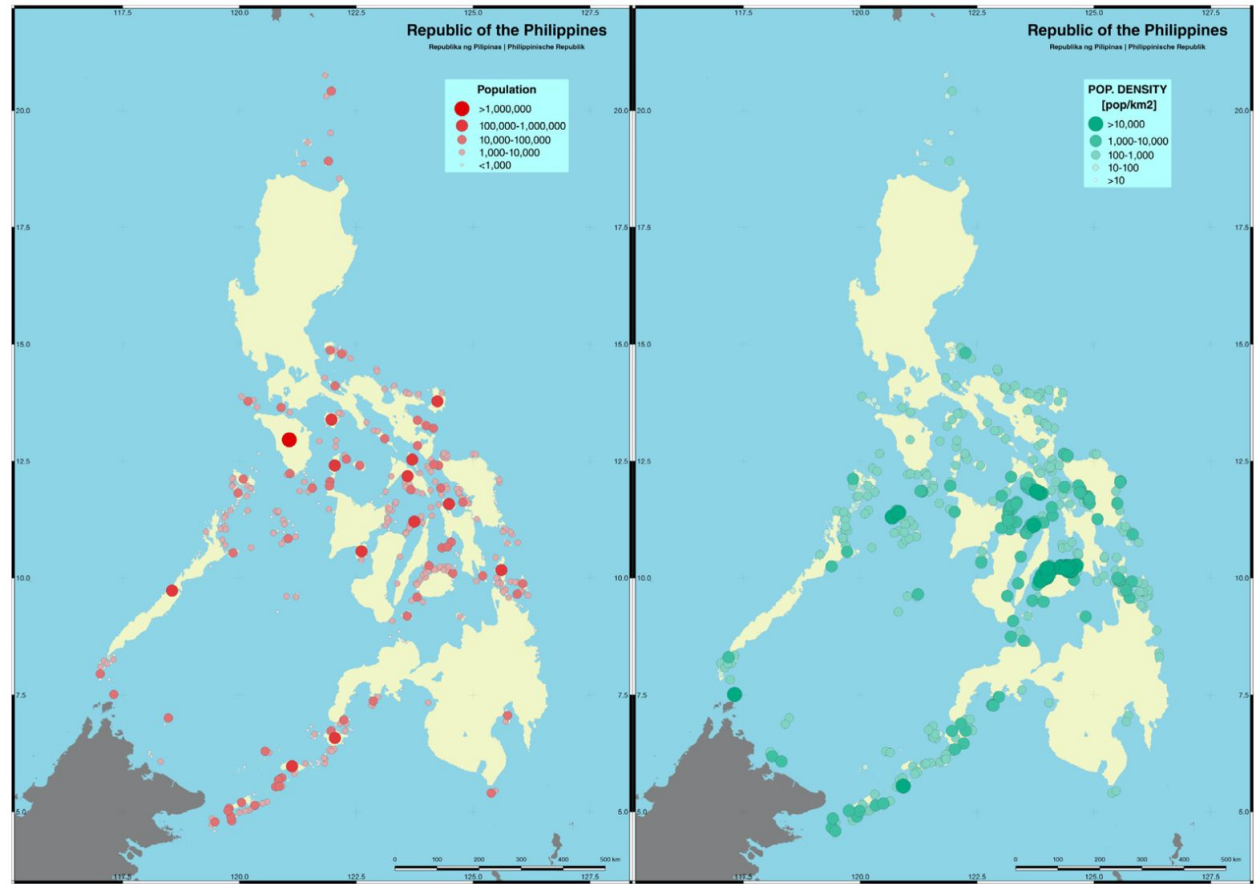
Geração Solar + Eólica



Ilhas das Filipinas

Geração Solar + Eólica

Operação ilhada /
independência da
rede principal

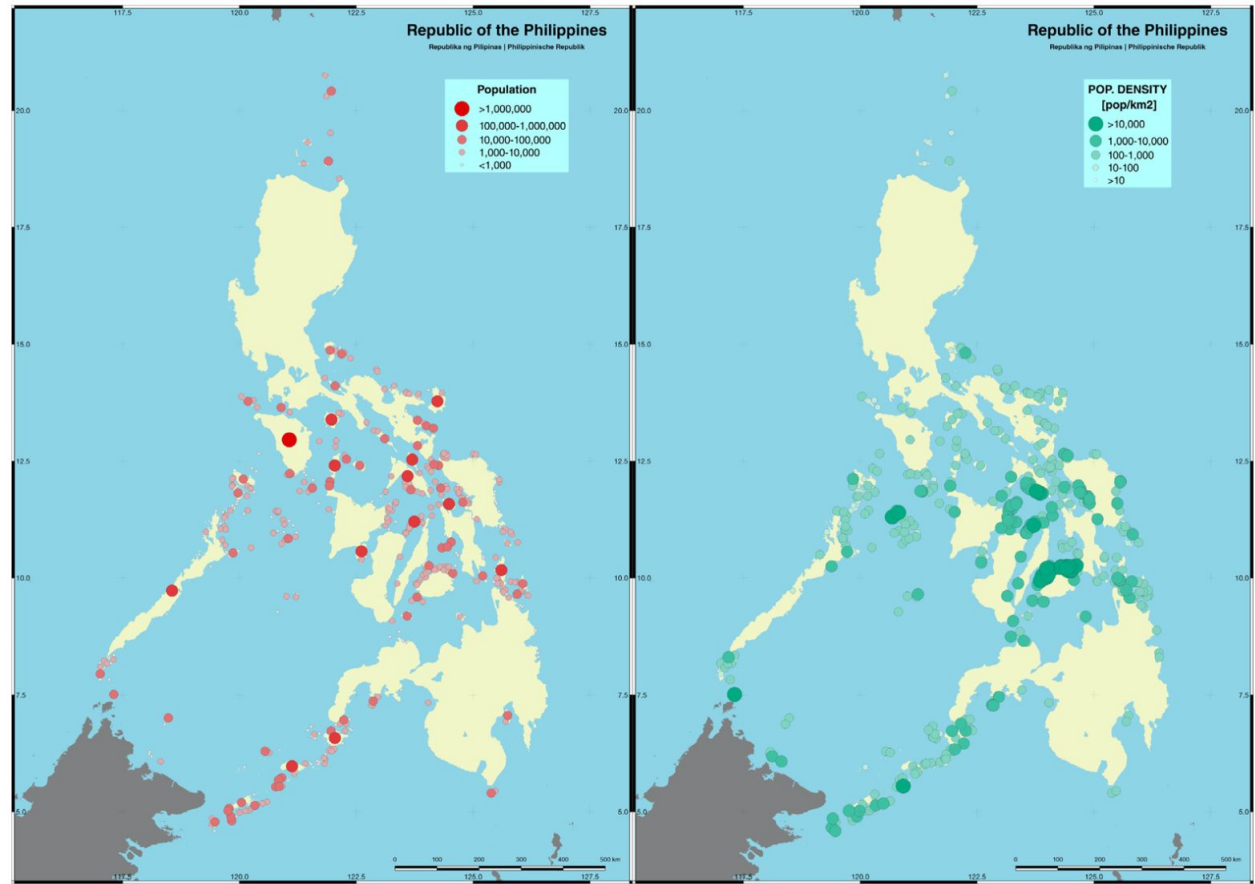


Ilhas das Filipinas

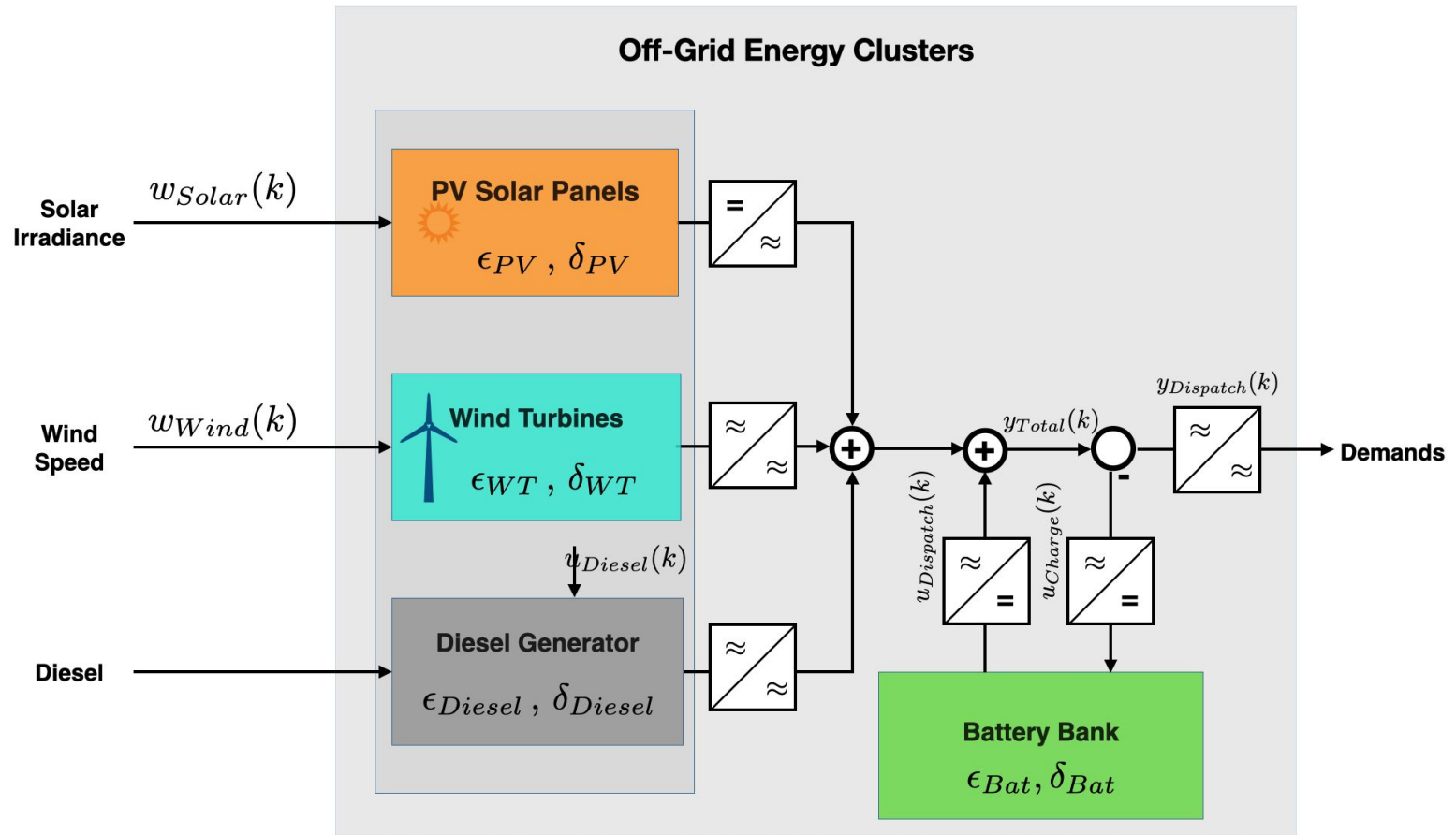
Geração Solar + Eólica

Operação ilhada /
independência da
rede principal

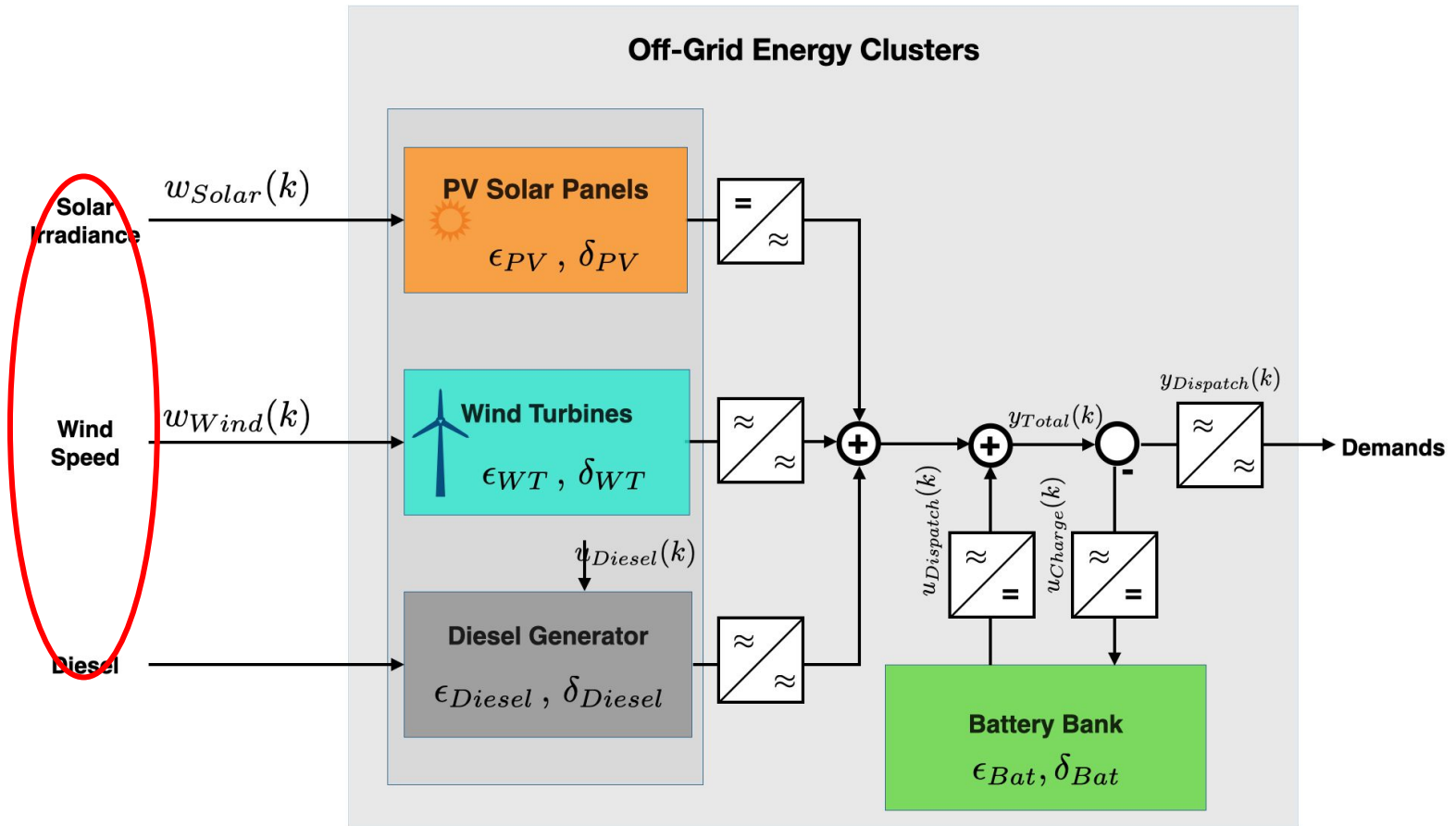
Extra: diesel
(deve ser minimizado)



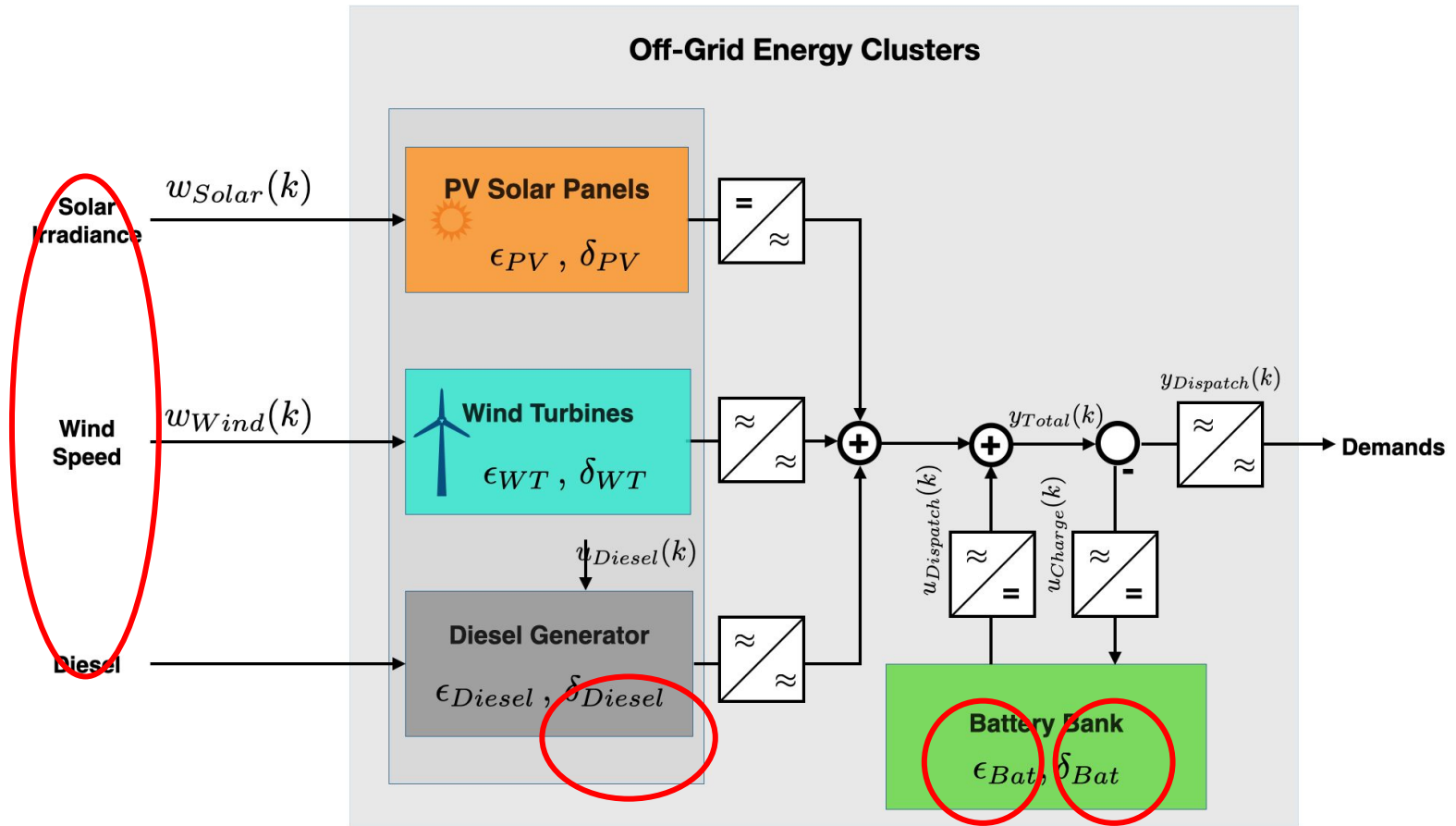
Ilhas das Filipinas



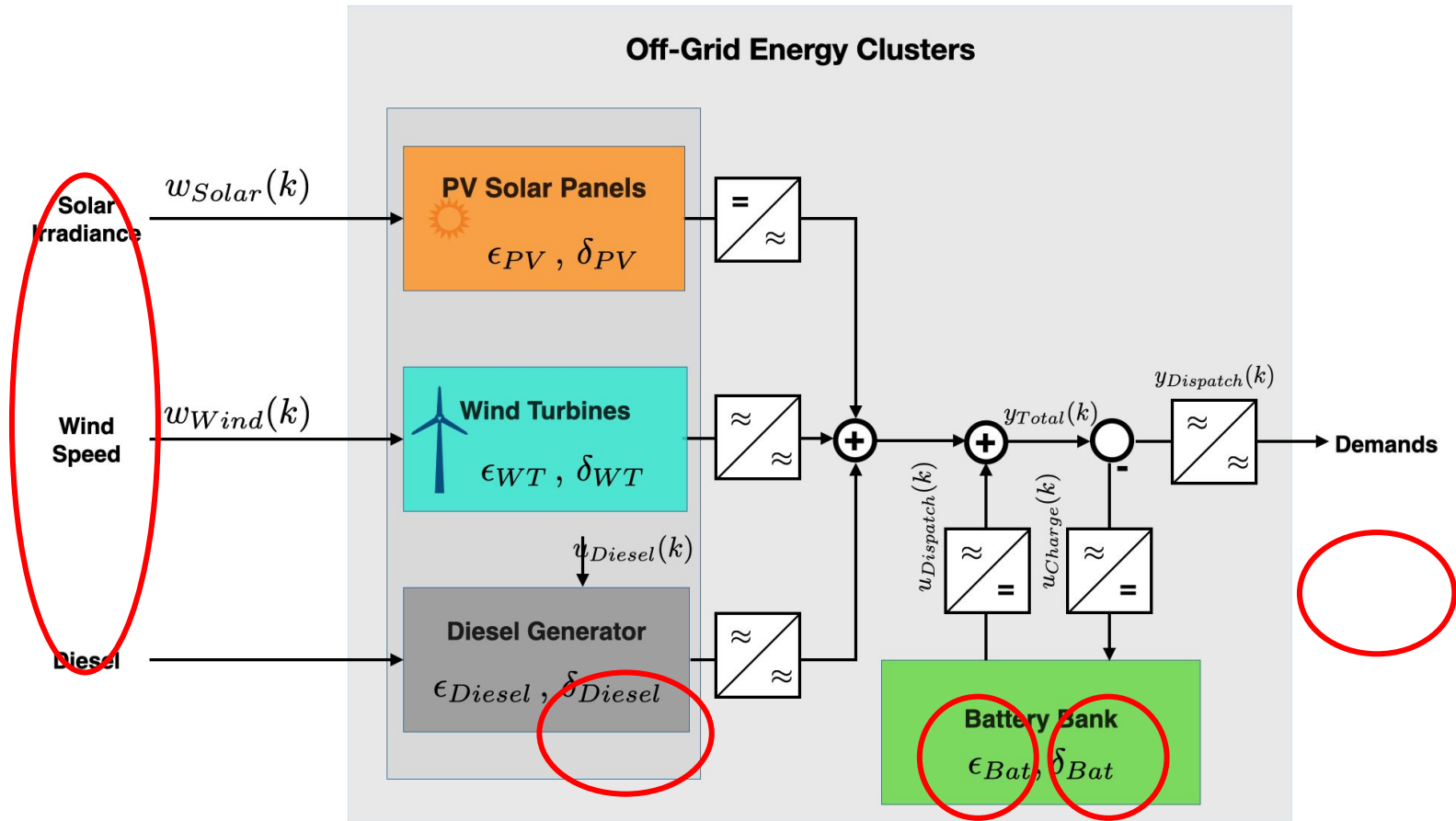
Ilhas das Filipinas

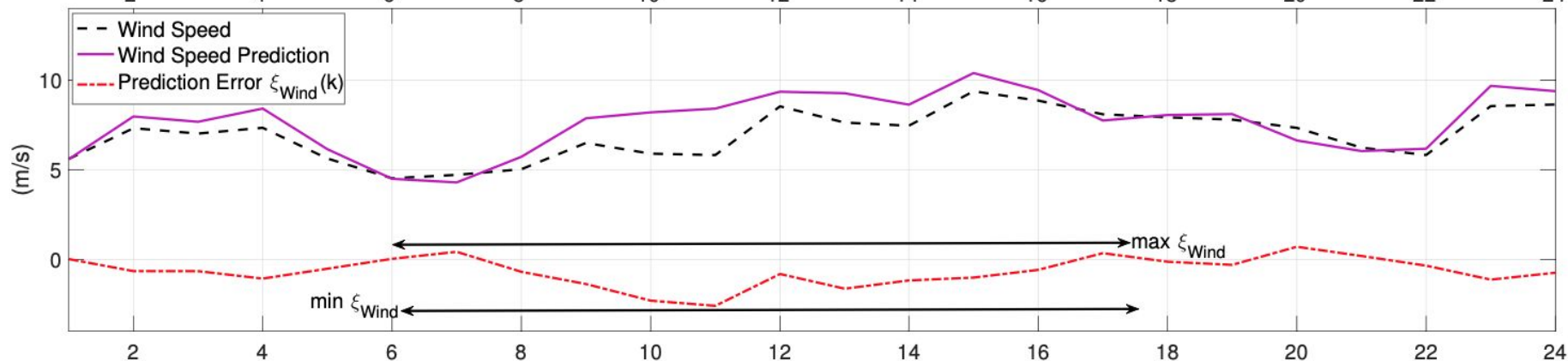
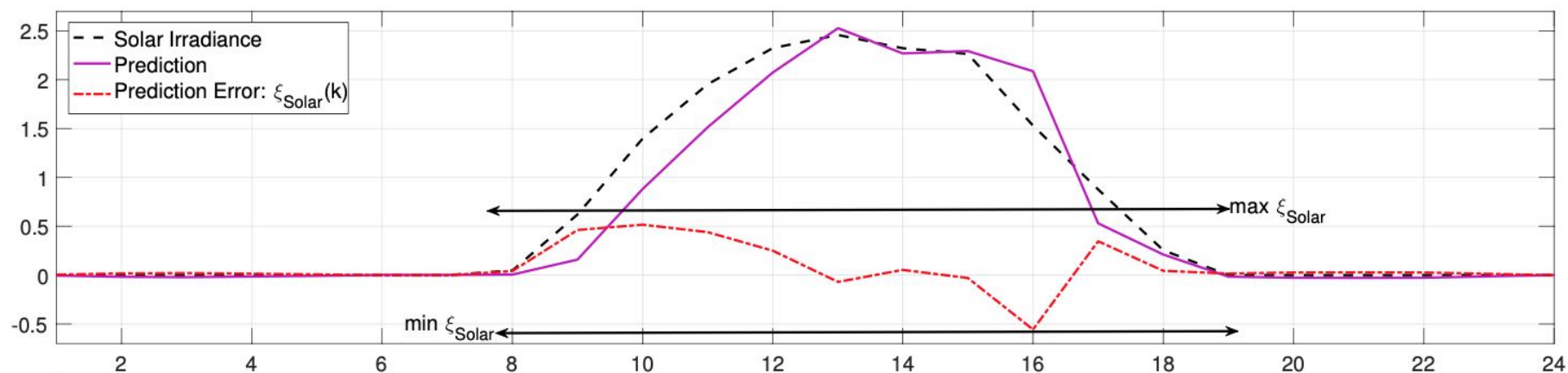


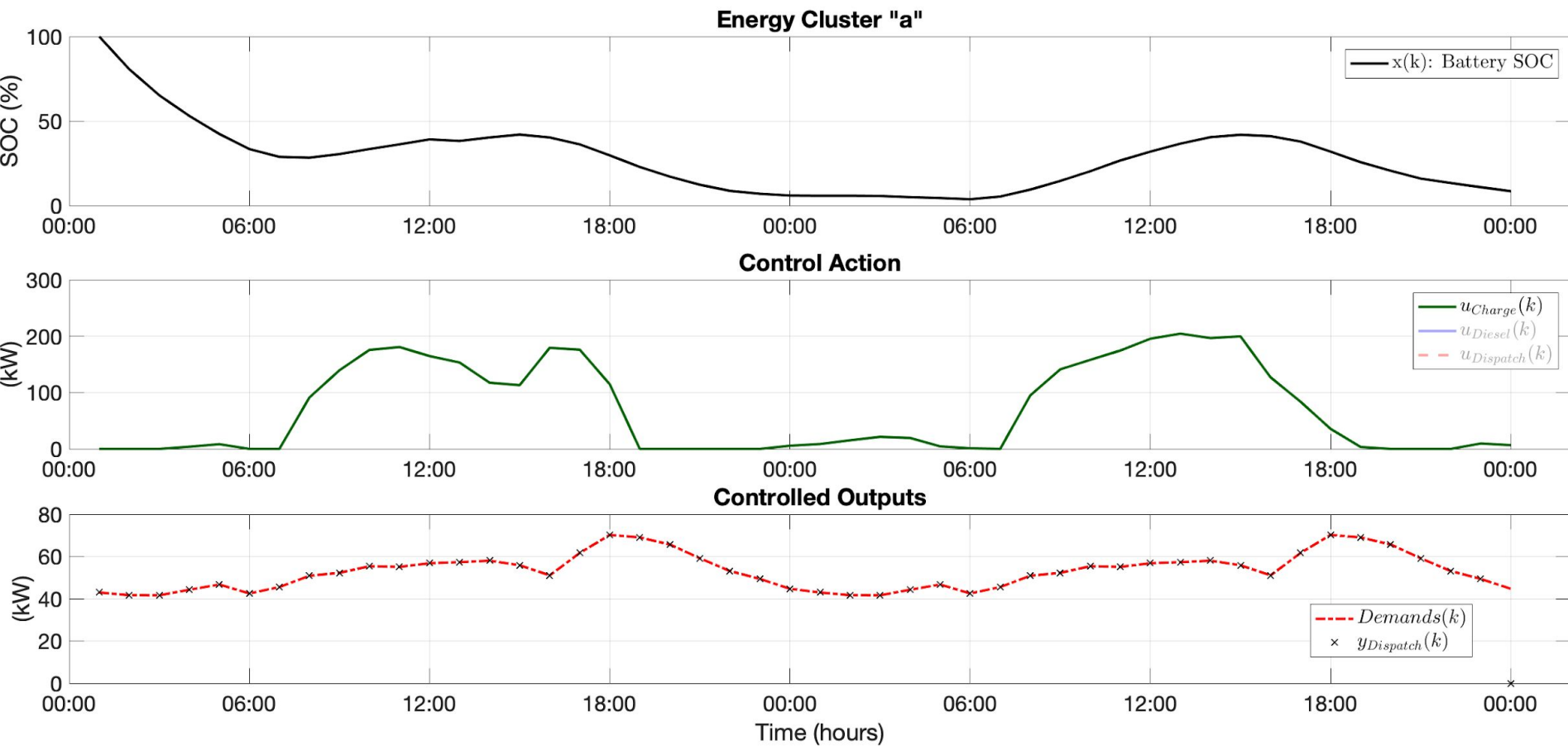
Ilhas das Filipinas

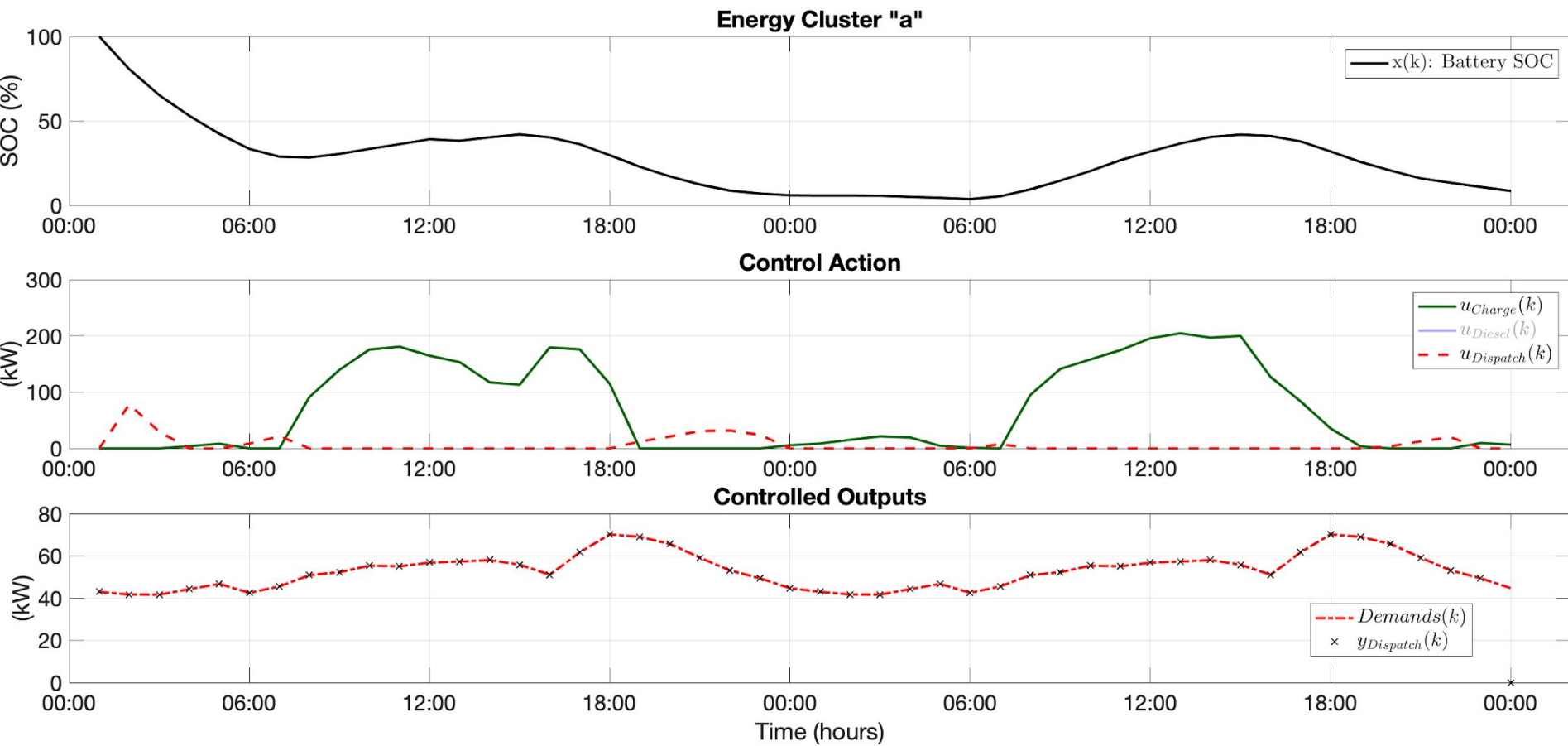


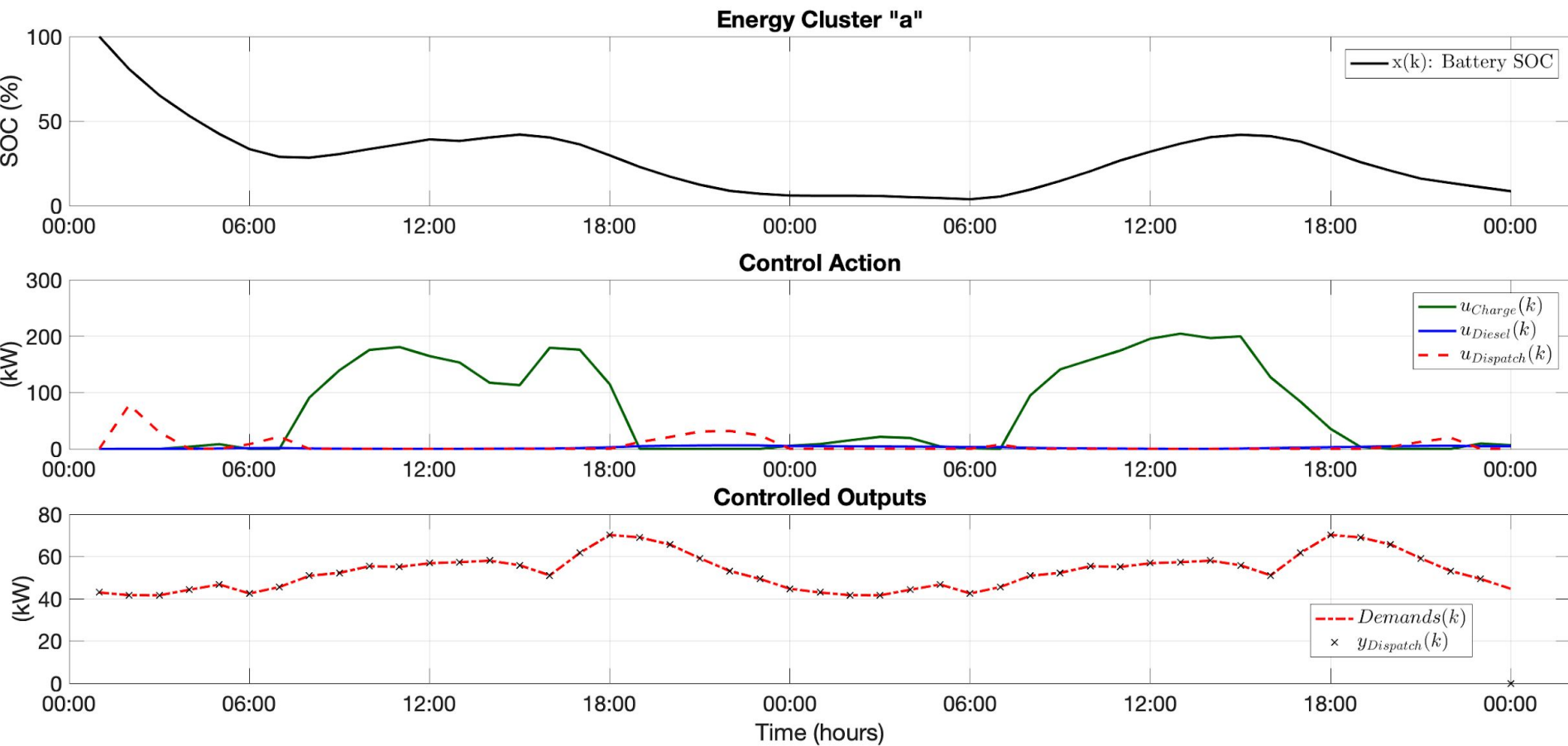
Ilhas das Filipinas



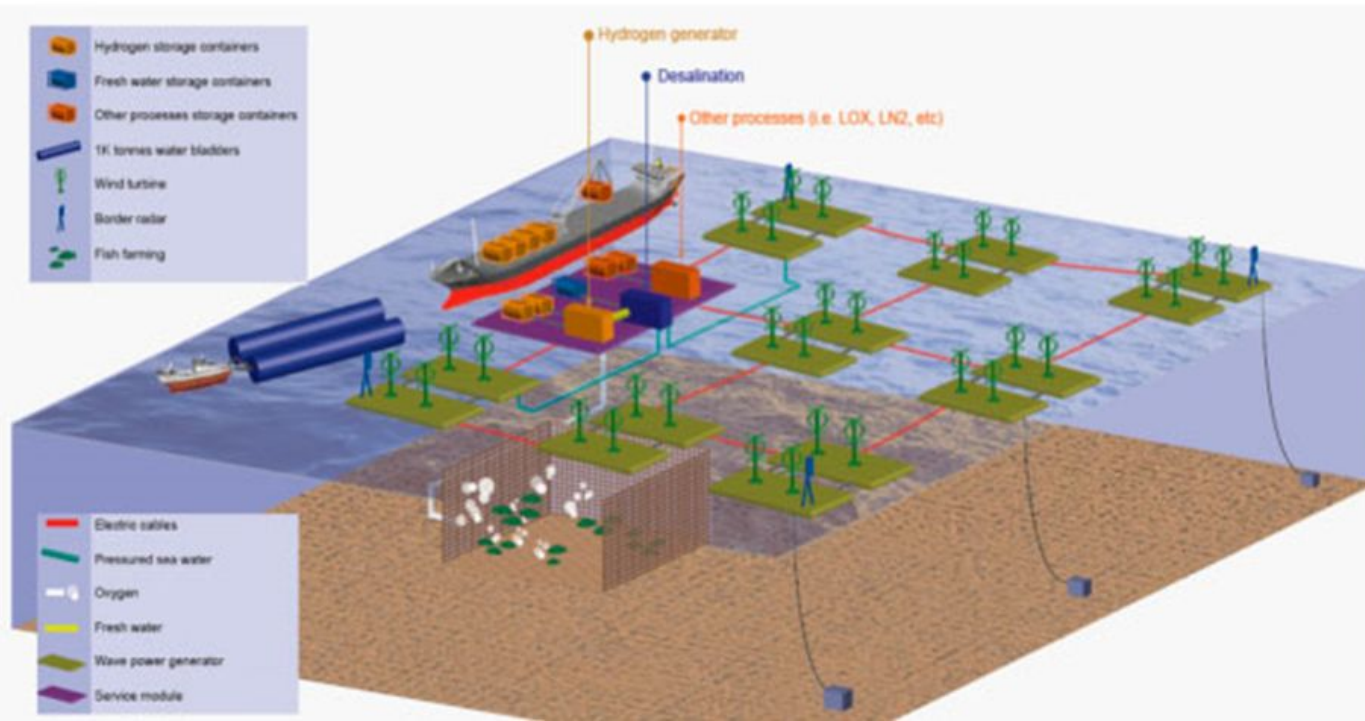




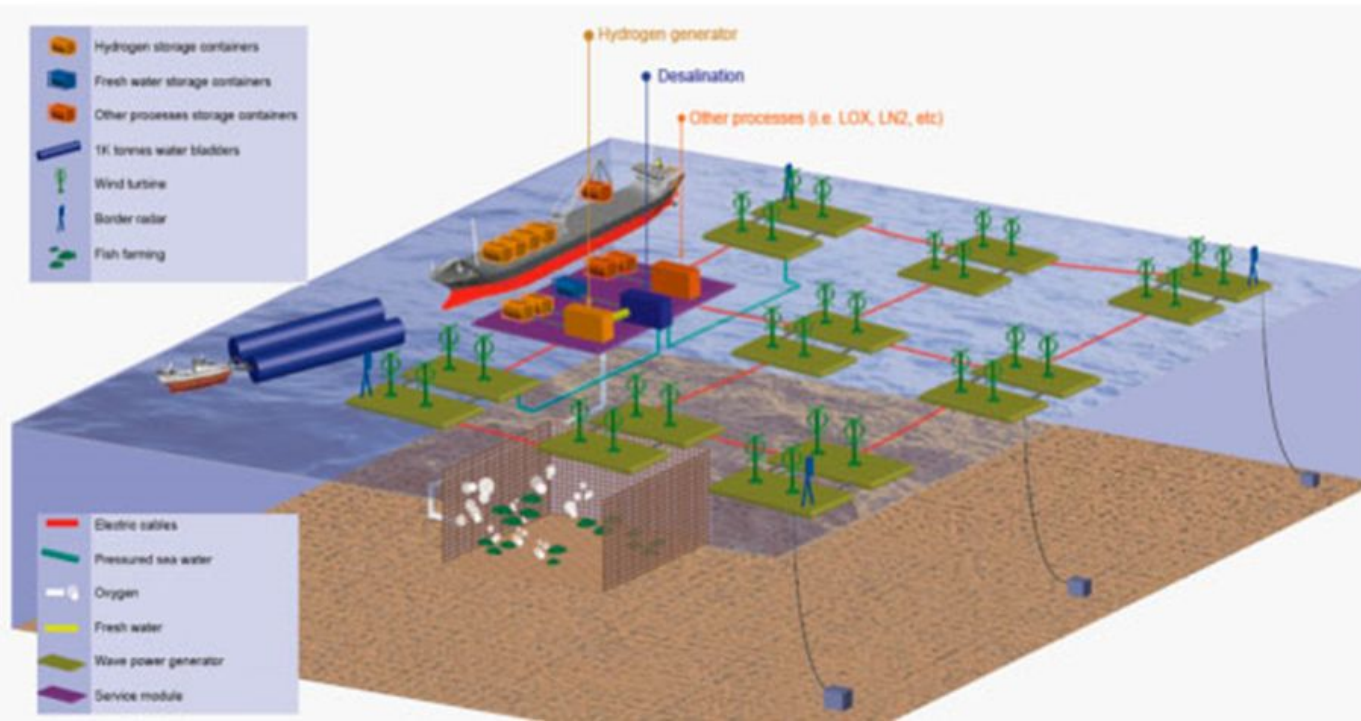




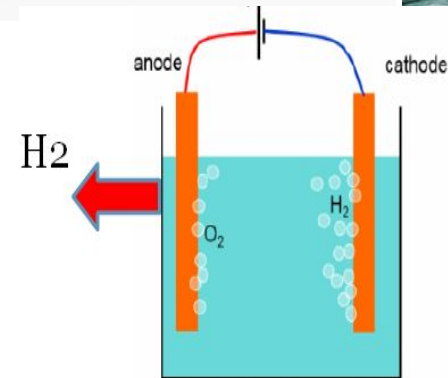
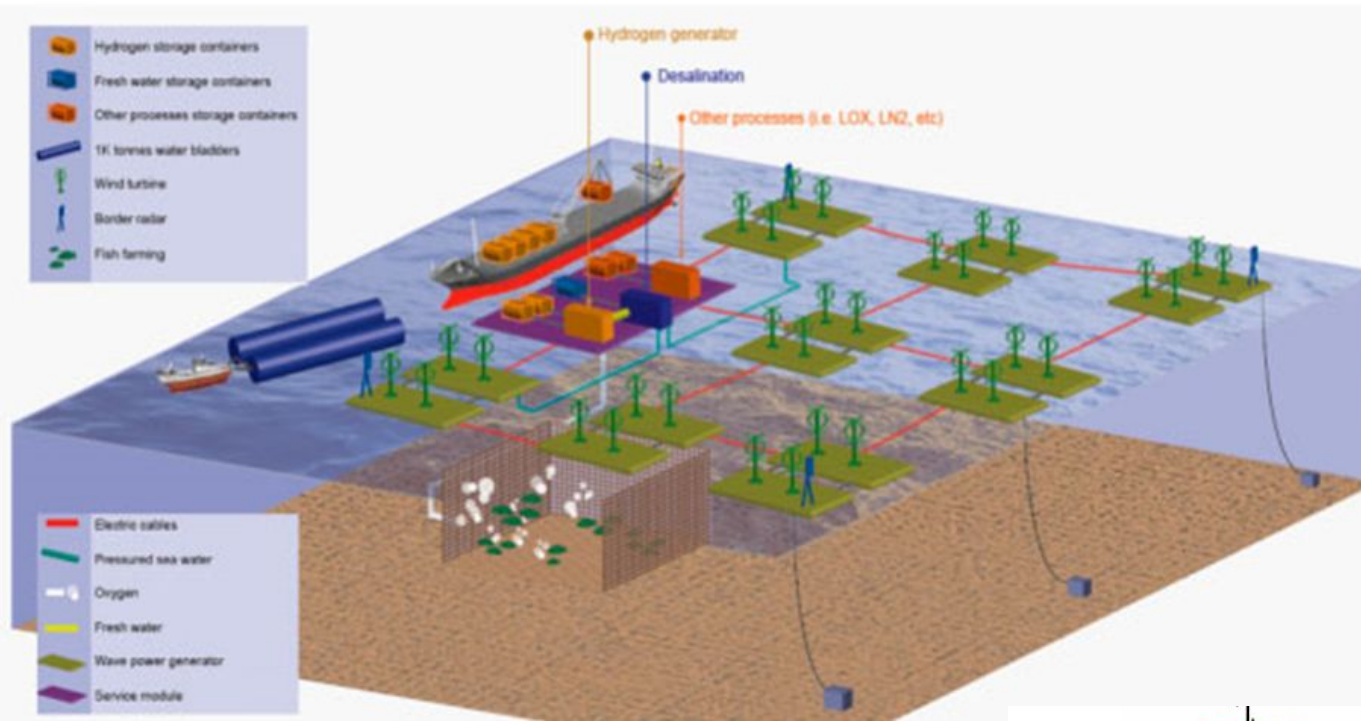
Geração de Hidrogênio Renovável



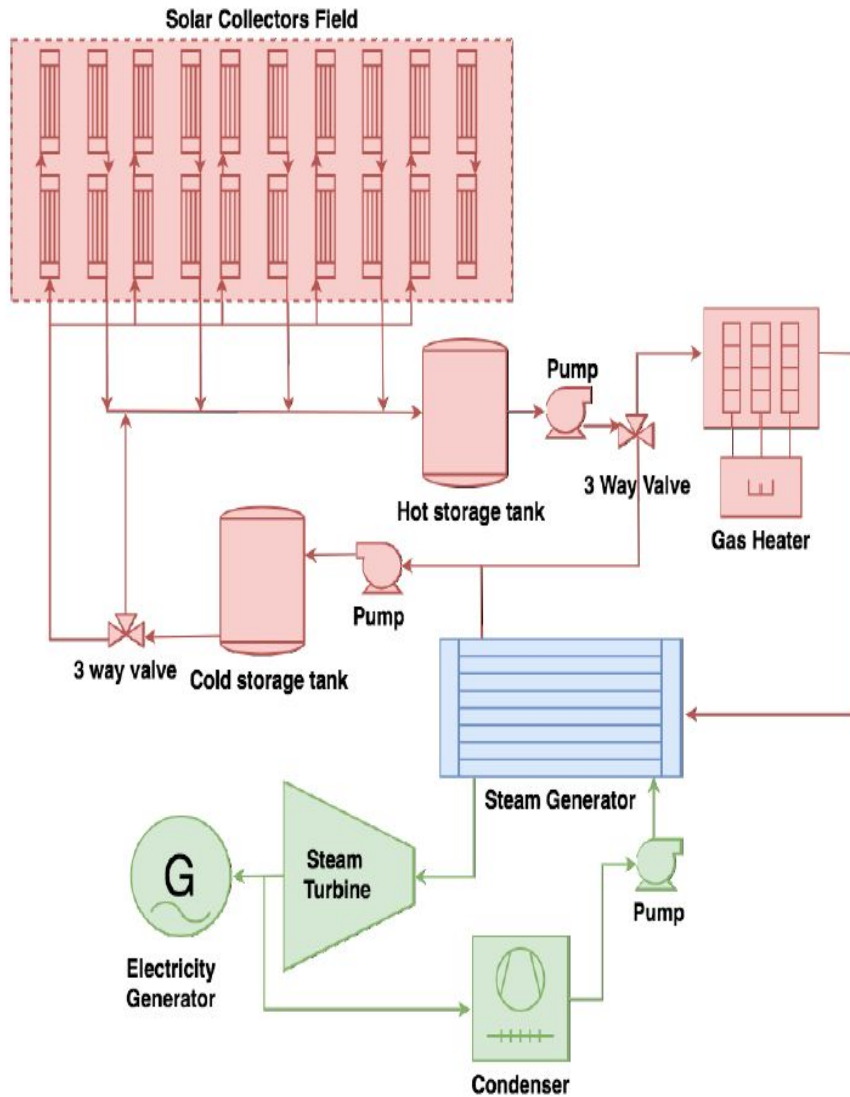
Geração de Hidrogênio Renovável



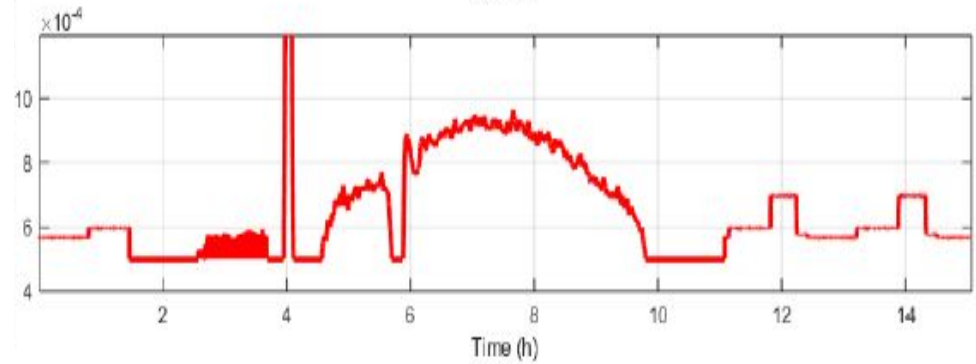
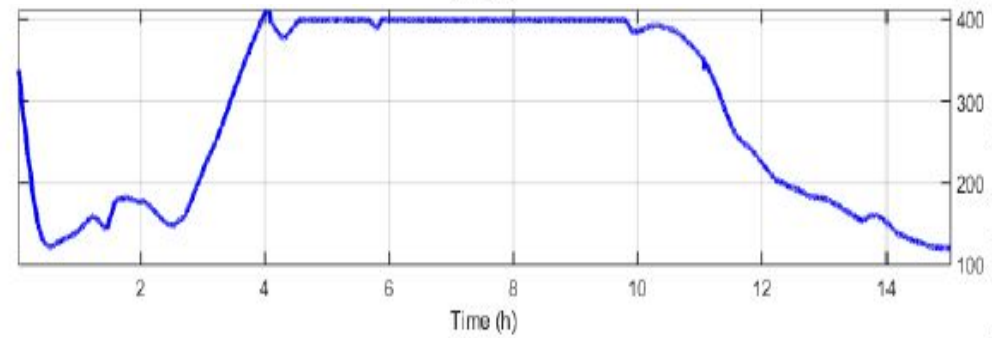
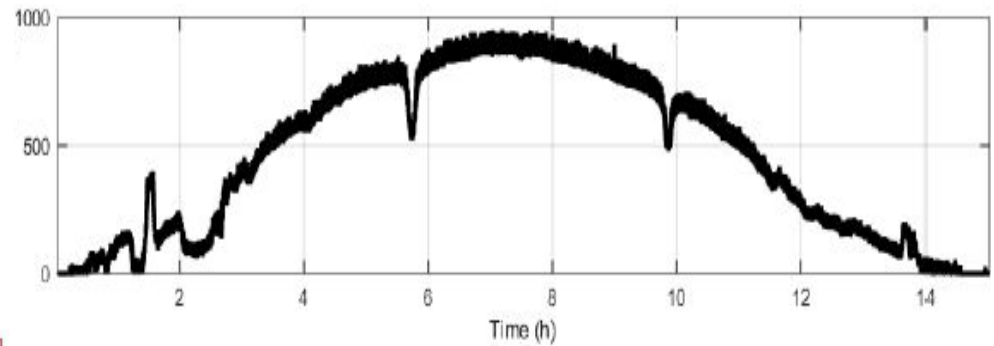
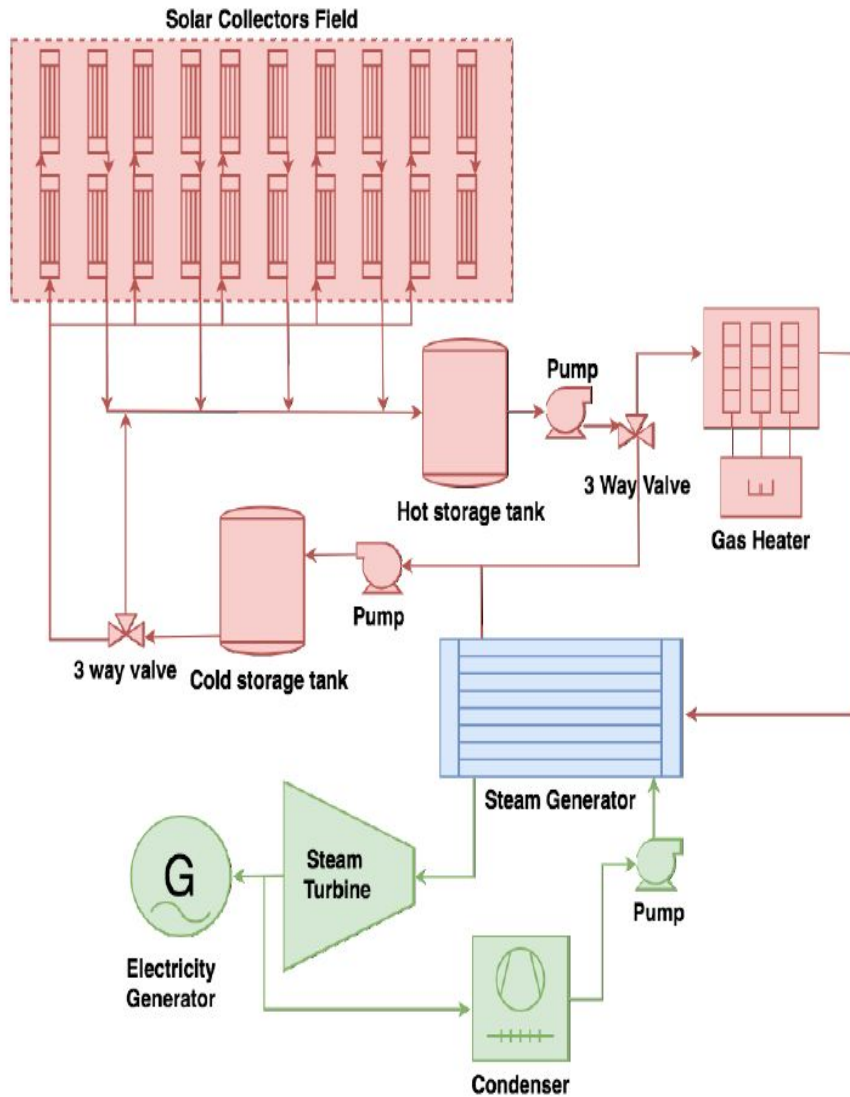
Geração de Hidrogênio Renovável



Painéis Solar-Térmicos



Painéis Solar-Térmicos



Caminhos Futuros

Microrredes precisam de controle e gestão inteligente de cargas para que se possa usar as energias renováveis de forma eficiente

Caminhos Futuros

Microrredes precisam de controle e gestão inteligente de cargas para que se possa usar as energias renováveis de forma eficiente

Paradigma de geração de energia para o futuro (agora?) → Agenda 2030

Caminhos Futuros

Microrredes precisam de controle e gestão inteligente de cargas para que se possa usar as energias renováveis de forma eficiente

Paradigma de geração de energia para o futuro (agora?) → Agenda 2030

Implementação!

Caminhos Futuros

Microrredes precisam de controle e gestão inteligente de cargas para que se possa usar as energias renováveis de forma eficiente

Paradigma de geração de energia para o futuro (agora?) → Agenda 2030

Implementação!

Diversas questões teóricas em aberto

Conclusões

- Eficiência energética é um tema de grande importância em todos os níveis (doméstico ao industrial)
- Oportunidade: investir e pesquisar novas configurações para geração de energia renovável (com gestão via MPC!)
- Benefícios econômicos + socioambientais!
- Melhorar os sistemas e processos de controle e gestão são questões fundamentais

Na próxima aula...

- Hidrogênio verde
- Microrredes baseadas em armazenamento de H₂

Até a próxima aula!