

# META II FORMAÇÃO DE PREÇO

## Workshop 3 Propostas para o preço por oferta

**Bloco 3: Explorando o modelo por ofertas**  
27 de novembro de 2024



---

# 3.1

## **Proposta Base por Ofertas**

Abstract teal wavy lines at the bottom of the slide, creating a sense of motion and depth.

# Componentes da proposta base



## Estrutura de ofertas

Agentes se registram como ofertantes (voluntariamente) e submetem dados para o “fechamento do mercado”

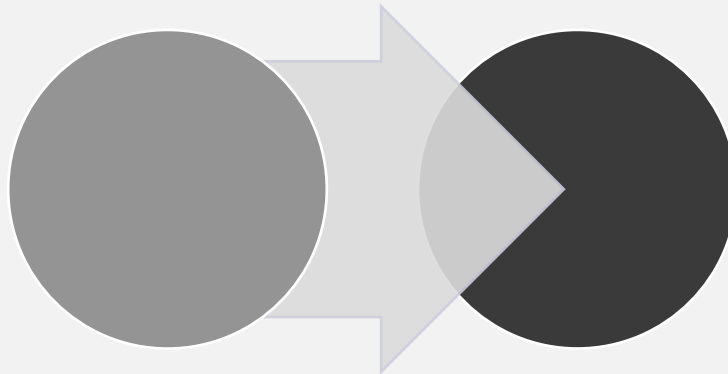
### Agente ofertante

Ofertas independentes (horárias)

Ofertas de perfil (multi-horárias)

## Conversão físico-ofertas

Ser capaz de “traduzir” a informação física das bases de dados tradicionais em uma “oferta recomendada” na estrutura



## Estrutura de subproblemas

Endereçar que, na prática, o “fechamento de mercado” é um **processo** (não um problema de otimização único)

Problema ex ante



Problema ex post

Elementos levados em conta de forma **conjunta** na construção da proposta

É importante tratar de como **operacionalizar** e de como **emular/simular** o mercado

# O problema de fechamento de mercado



Em geral, um **problema de otimização** é usado para representar o despacho e formação de preço

O preço de mercado  $\pi$  corresponde à variável dual da restrição de balanço oferta-demanda – demonstra-se que este é o **signal de preço** mais eficaz (na ausência de poder de mercado) para que os agentes tomem decisões de geração e consumo **coerentes** com as condições do sistema

Abstraindo as diferentes **escolhas** de representação deste problema de otimização, temos representações (i) baseada em **funções** e (ii) baseada em **segmentos**

$$\begin{aligned} \min_q \sum_{j \in \mathcal{J}} C_j^Q(q_j) \\ \sum_{j \in \mathcal{J}} q_j = 0 \quad : \pi \\ q_j \in Q_j \quad \forall j \in \mathcal{J} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \min_{\lambda} \sum_{j \in \mathcal{J}} \underbrace{\sum_{m \in \mathcal{M}(j)} \lambda_{jm} Q_{jm} P_{jm}} \\ \sum_{j \in \mathcal{J}} \underbrace{\sum_{m \in \mathcal{M}(j)} \lambda_{jm} Q_{jm}} = 0 \quad : \pi \\ 0 \leq \lambda_{jm} \leq 1 \quad \forall j, m \end{aligned}$$

# Estrutura de ofertas: segmentos



Uma padronização (utilizada em mercados maduros europeus): cada “grupo”  $j \in J$  pode submeter **ofertas independentes** e **ofertas de perfil**, com **segmentos**  $m \in \mathcal{M}^I$  e  $m \in \mathcal{M}^P$  respectivamente

## Ofertas independentes (horárias)

Dados para cada **intervalo** (horário ou sub-horário) separadamente

$$P_{jmt}, Q_{jmt}$$

Decisão de acionamento é **independente** para cada intervalo

$$\lambda_{jmt}$$

## Ofertas de perfil (multi-horárias)

Dados representam um **perfil** englobando **todos** os intervalos

$$P_{jm}, \{Q_{jmt}\}_t$$

Decisão de acionamento é para o **perfil** como um todo

$$\lambda_{jm}$$

# Estrutura de ofertas complexas de perfil



Para que permitam de fato uma representação **genérica**, é importante complementar as ofertas de perfil com três tipos de restrição adicional

Este formato para ofertas de perfil e restrições é utilizado na Europa e outros países

Tipo de restrição	Fórmula (simplificada)	Intuição	Para o software
<b>Restrição de complementariedade</b>	$\lambda_M + \lambda_N \leq 1$	Se o perfil $N$ foi aceito, o aceite do perfil $M$ é limitado	Conjuntos de complementariedade
<b>Restrição de precedência</b>	$\lambda_M \leq \lambda_N$	Se o perfil $N$ não foi totalmente aceito, o aceite da oferta $M$ é limitado	Perfil “mãe” (possivelmente $\emptyset$ )
<b>Restrição de ativação mínima</b>	$\lambda_M \neq 0 \Rightarrow \lambda_M \geq L_M$	se aceito, o perfil $M$ deve respeitar o limite mínimo	Variável binária

# Exemplo: Oferta de reservatório



Apenas com ofertas independentes e de perfil, é possível incorporar a “função de lucro futuro” das hidrelétricas com reservatório no modelo (caso Espanha, Noruega, Colômbia, etc)

A hidro (i) oferta **dois patamares** de valor da água e (ii) pode alocar a sua geração a **diferentes períodos**



A água armazenada no reservatório é de **direito e responsabilidade** do agente que faz ofertas

Ofertas de perfil	Período 1 (manhã)	Período 2 (tarde)	Período 3 (noite)	Custo
Perfil 1a	5 MW	0 MW	0 MW	10 \$/MWh
Perfil 1b	0 MW	5 MW	0 MW	10 \$/MWh
Perfil 1c	0 MW	0 MW	5 MW	10 \$/MWh
Perfil 2a	10 MW	0 MW	0 MW	50 \$/MWh
Perfil 2b	0 MW	10 MW	0 MW	50 \$/MWh
Perfil 2c	0 MW	0 MW	10 MW	50 \$/MWh

## Restrições:

$$C1: \lambda_{1a} + \lambda_{1b} + \lambda_{1c} \leq 1$$

$$C2: \lambda_{2a} + \lambda_{2b} + \lambda_{2c} \leq 1$$

# Exemplo: Oferta de baterias

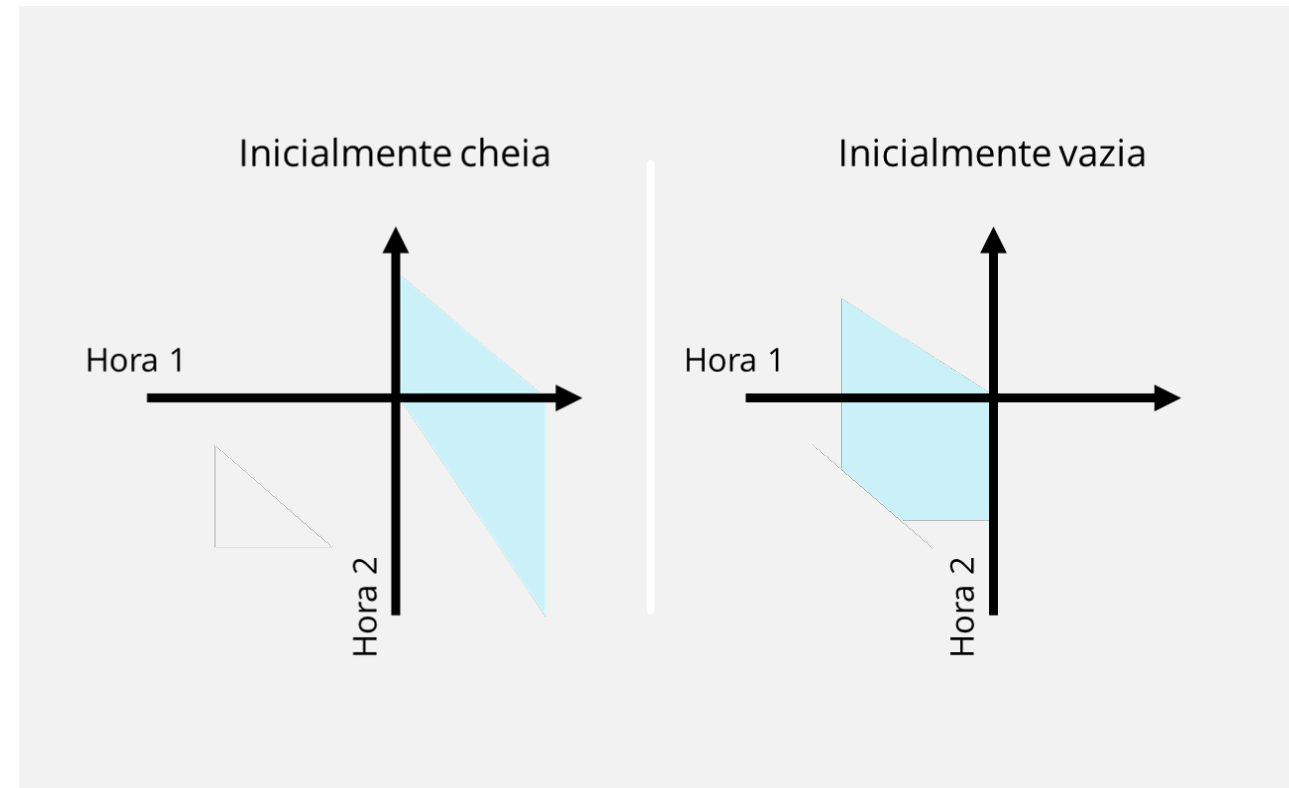


Apenas com ofertas independentes e de perfil, é possível incorporar as restrições de carregamento e descarregamento da bateria.

Ofertas de perfil	Hora 1	Hora 2	Hora 3
Perfil 1	-5 MW	4 MW	0 MW
Perfil 2	-5 MW	0 MW	4 MW
Perfil 3	0 MW	4 MW	-5 MW
Perfil 4	0 MW	-5 MW	4 MW
Perfil 5	4 MW	-5 MW	0 MW
Perfil 6	4 MW	0 MW	-5 MW

## Restrições:

$$\begin{aligned} C1: \lambda_1 + \lambda_2 &\leq 1 & C4: \lambda_3 + \lambda_6 &\leq 1 \\ C2: \lambda_1 + \lambda_3 &\leq 1 & C5: \lambda_4 + \lambda_5 &\leq 1 \\ C3: \lambda_2 + \lambda_4 &\leq 1 & C6: \lambda_5 + \lambda_6 &\leq 1 \end{aligned}$$





# Na prática: mecanismos facilitadores



É desejável **permitir** que os agentes submetam “ofertas de perfil” diretamente

- Novas tecnologias são **automaticamente contempladas** sem a necessidade de adaptação (e.g. usinas híbridas, baterias) – **incentivo à inovação**

Por outro lado, mecanismos “facilitadores” **reduzem barreiras à entrada**

- Nem sempre é simples “traduzir” parâmetros usuais da indústria (como mínimo tempo ligado, capacidade de armazenamento, etc.) para a linguagem das ofertas independentes e ofertas de perfil
- No nosso modelo, um **módulo adicional** é usado para criar correspondências diretas

# META II FORMAÇÃO DE PREÇO



**Website :**

[www.meta2formacaodepreco.com.br](http://www.meta2formacaodepreco.com.br)



**Palestrante**  
**Nina Hubner**



---

# 3.2

## Modelos



# Representações “por CUSTO” e “por OFERTA”



## VERSÃO “POR CUSTO”

- Unidades físicas  $i$
- Decisões  $u_i \in \mathcal{U}_i$  (turbinamento, volume...)
- Função custo  $C^U$  e função de produção  $Q$

$$\min_u \sum_{i \in \mathcal{J}} C_i^U(u_i)$$
$$\sum_{i \in \mathcal{J}} Q_i(u_i) = 0 \quad : \pi$$
$$u_i \in \mathcal{U}_i \quad \forall i \in \mathcal{J}$$

## VERSÃO “POR OFERTA”

- Grupos de oferta  $j$
- Quantidades produzidas/consumidas  $q_j \in \mathcal{Q}_j$
- Função custo  $C^Q$

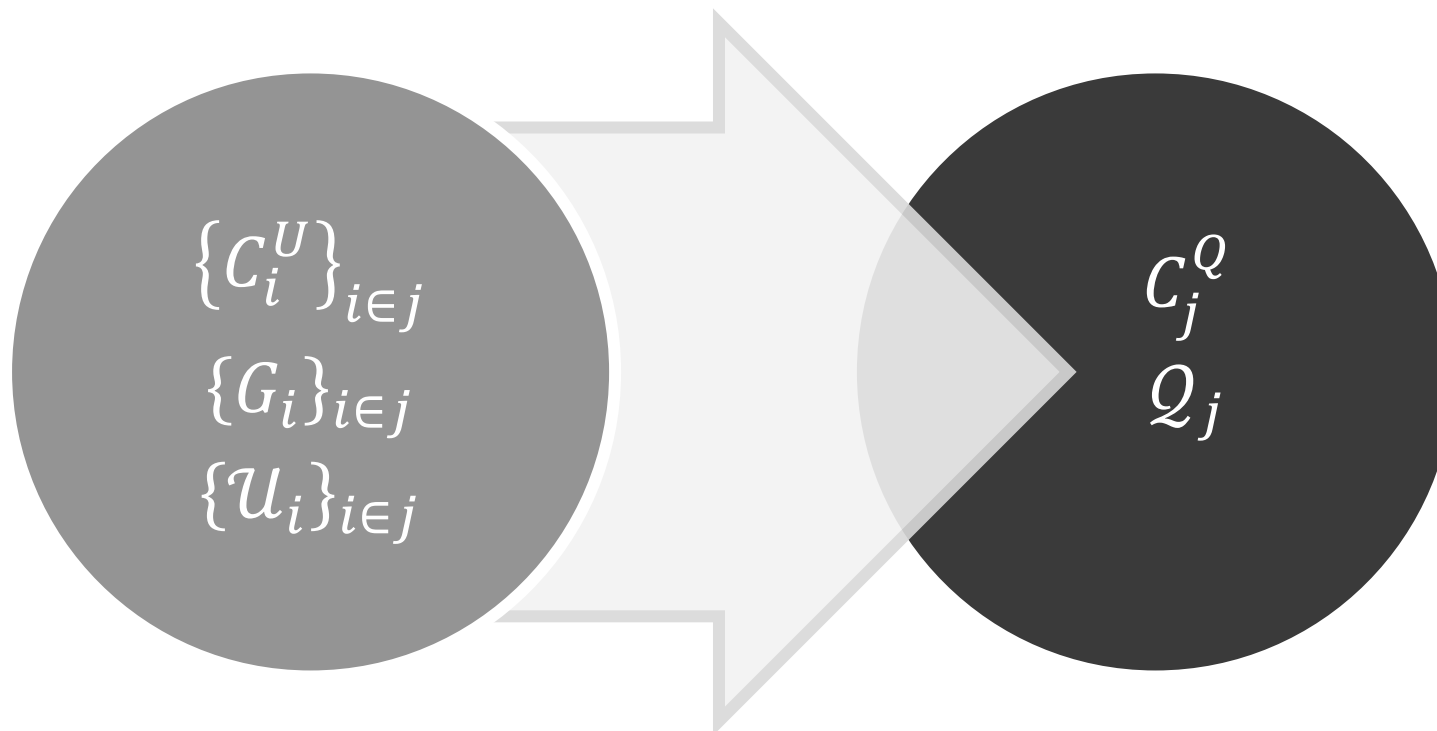
$$\min_q \sum_{j \in \mathcal{J}} C_j^Q(q_j)$$
$$\sum_{j \in \mathcal{J}} q_j = 0 \quad : \pi$$
$$q_j \in \mathcal{Q}_j \quad \forall j \in \mathcal{J}$$

# Conversão físico-ofertas



Existe grande **diversidade** entre como diferentes tecnologias / unidades físicas são representadas no mundo “**por custos**”.

É possível “traduzir” estas representações em uma **linguagem comum**?



# Fechamento de mercado como um processo



Até aqui, falamos de um único “problema de otimização”; mas o fechamento de mercado é um **processo**

A distinção entre o problema **ex ante** (mercado do dia seguinte) e o problema **ex post** (mercado de balanço) é necessária – incorporar **informação nova** que chega mais próximo do tempo real

Em muitos países há também uma distinção **regulatória** entre o problema **físico** e o problema **comercial** – que precisa ser representada, já que influencia as estratégias dos agentes

Também é importante fazer distinção entre a **operacionalização** e a **simulação** do processo

## Subproblema 1

$$\min_q \sum_{j \in \mathcal{J}} C_j^{Q1}(q_j)$$

$$\sum_{j \in \mathcal{J}} q_j = 0 \quad : \pi$$

$$q_j \in Q_j^1 \quad \forall j \in \mathcal{J}$$

## Subproblema 2

$$\min_q \sum_{j \in \mathcal{J}} C_j^{Q2}(q_j)$$

$$\sum_{j \in \mathcal{J}} q_j = 0 \quad : \pi$$

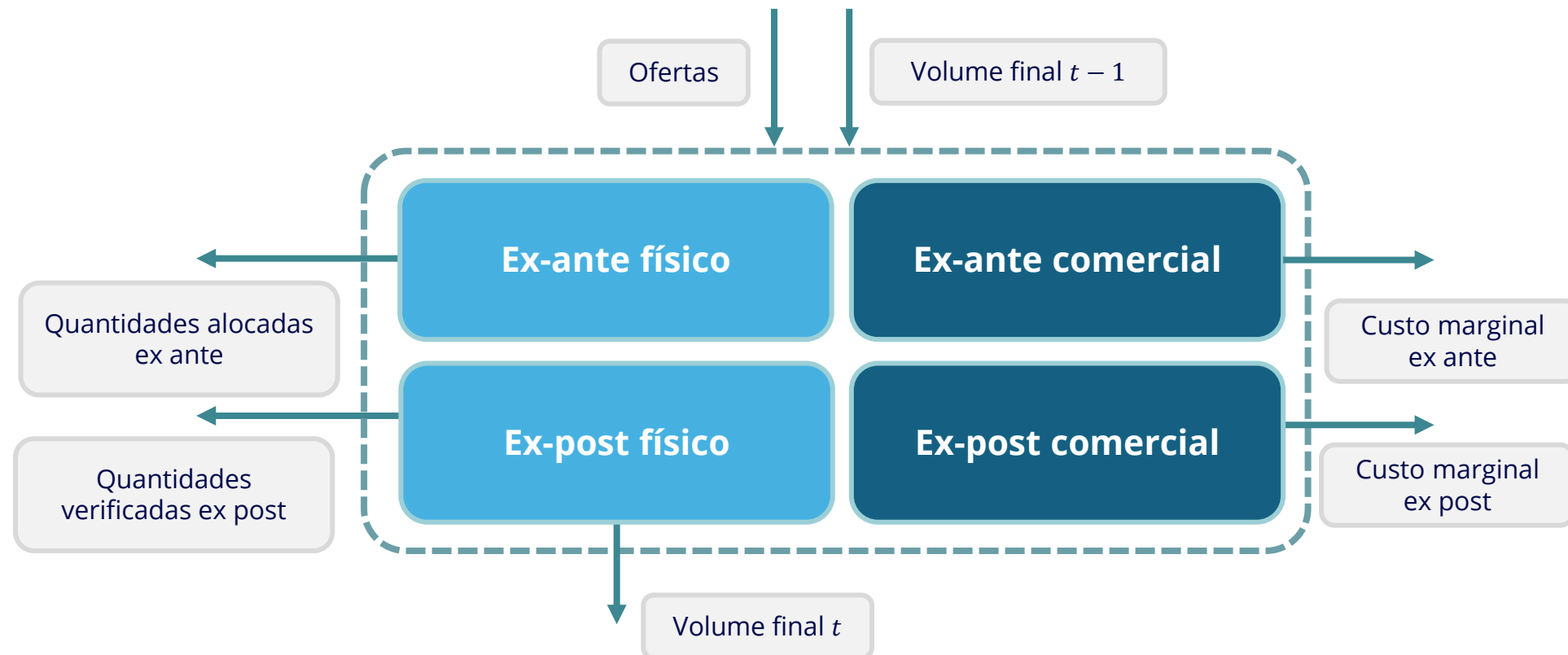
$$q_j \in Q_j^2 \quad \forall j \in \mathcal{J}$$

...

# Síntese da estrutura de subproblemas



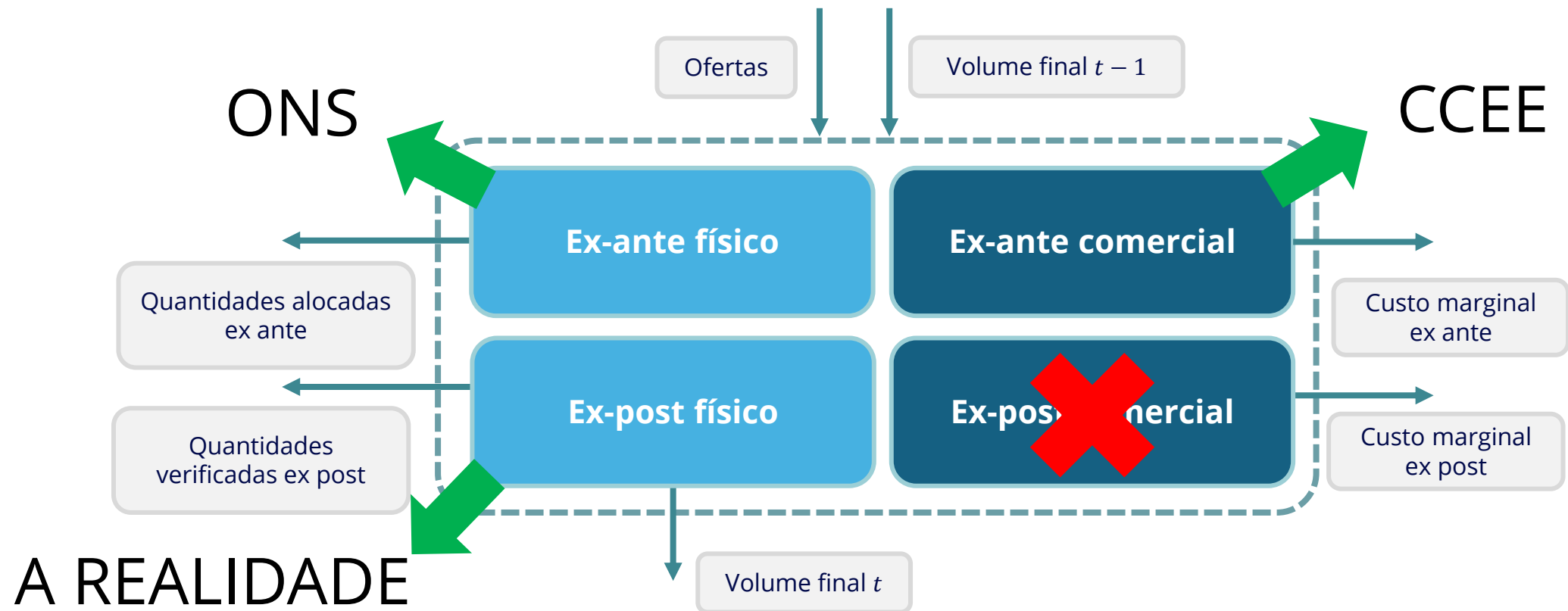
Conceitualmente, podemos pensar em 4 **estruturas** de “subproblemas de otimização”, que podem envolver **representações** diferentes dos dados de entrada (por exemplo da rede elétrica)



# Síntese da estrutura de subproblemas



Podemos representar muitos novos desenhos  
E o Brasil de **hoje**





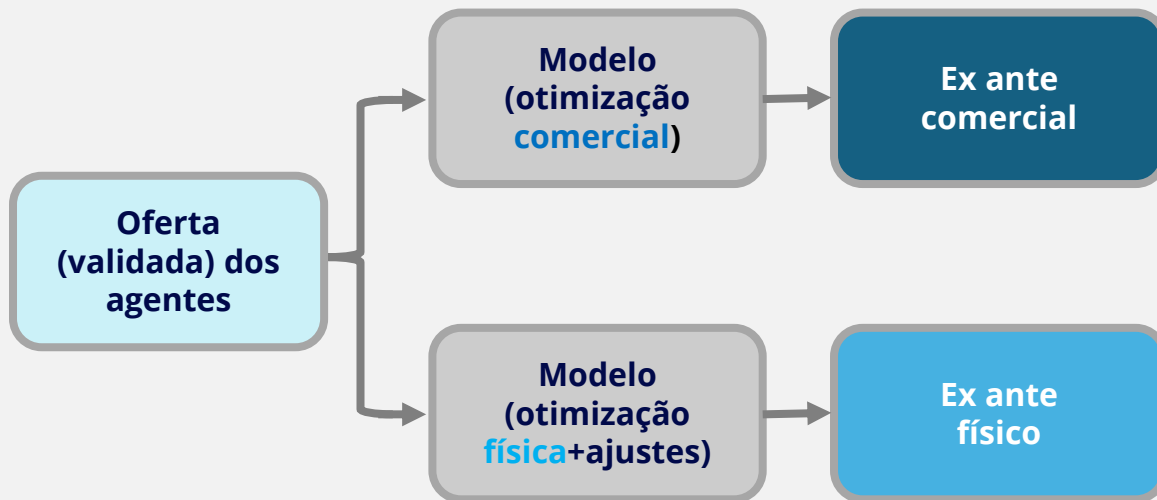
# Estrutura de subproblemas: operacional



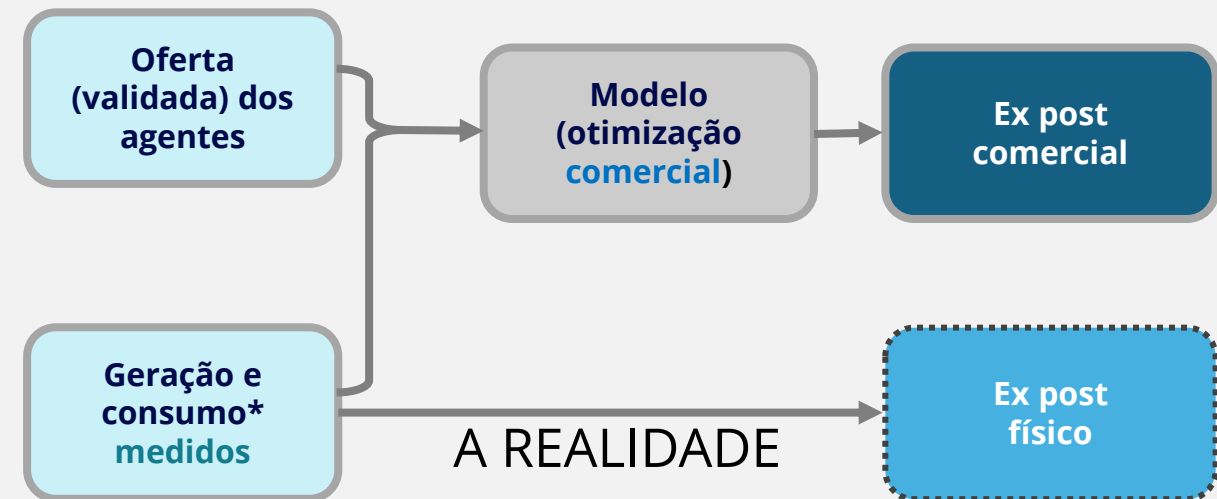
De onde vêm as informações **na prática** para fins de liquidação financeira?

Conceitualmente: **preços** vêm das simulações comerciais, **quantidades** vêm das “simulações” físicas

## Mercado ex ante



## Mercado ex post



\*E indisponibilidades

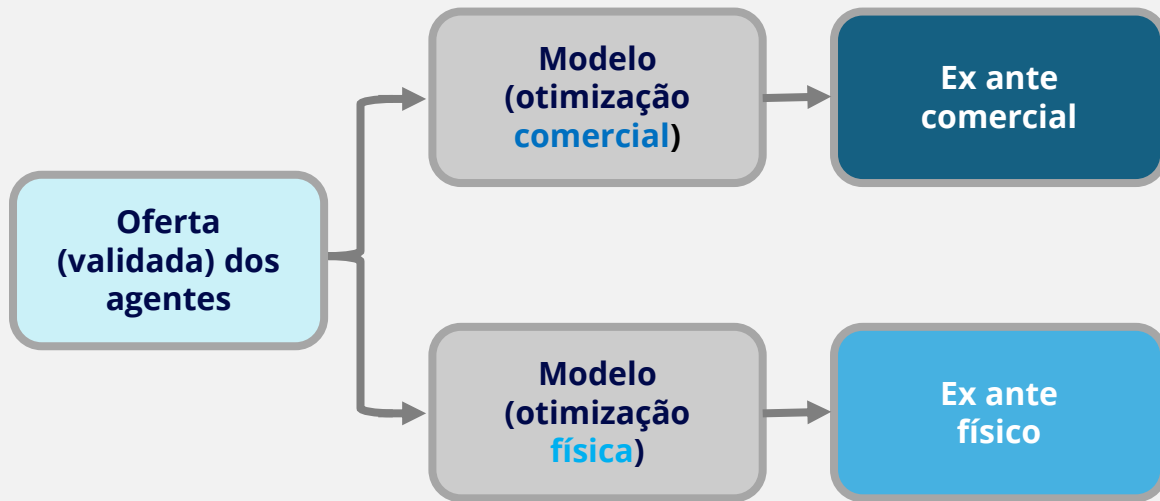
# Estrutura de subproblemas: simulação



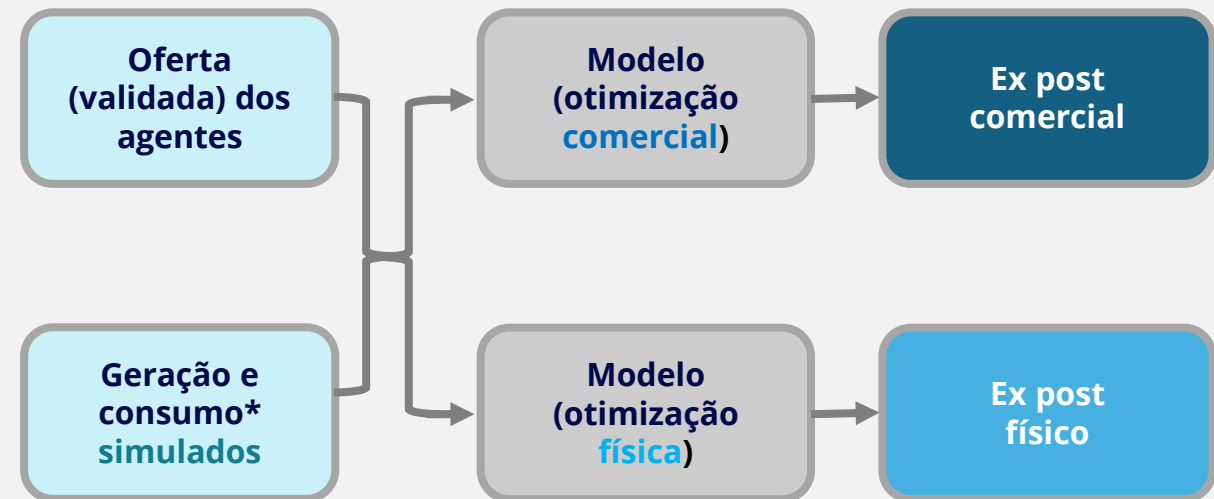
Para fazer uma **simulação** de mercado, não temos dados de “ajuste ex ante” e de “medição ex post”

A “otimização física” é a responsável por representar as informações de **quantidade**

## Mercado ex ante



## Mercado ex post



\*E indisponibilidades

# O Modelo IARA



## Mais um modelo?

- Código aberto e livre
  - Transparência para experimentos
  - Robustez nos resultados
  - Sem barreiras comerciais
- Flexível e extensível
  - Sandbox para experimentos
  - Reutilização na indústria e academia
- Eficiente
  - Análise de sistemas realistas



# IARA – Ferramentas



# IARA - Módulos



Características físicas do sistema



## Operação centralizada

### OBJETIVOS:

- Atender a demanda
- Minimizar custos

### MÉTODO:

- SDDP

Operação de referência



## Cost-to-bid

### OBJETIVOS:

- Converter custos para ofertas de preço e quantidade

### MÉTODO:

- Heurísticas

Ofertas



## Clearing

### OBJETIVOS:

- Atender a demanda
- Minimizar custos

### MÉTODO:

- Ex-ante e ex-post
- Representação física e comercial

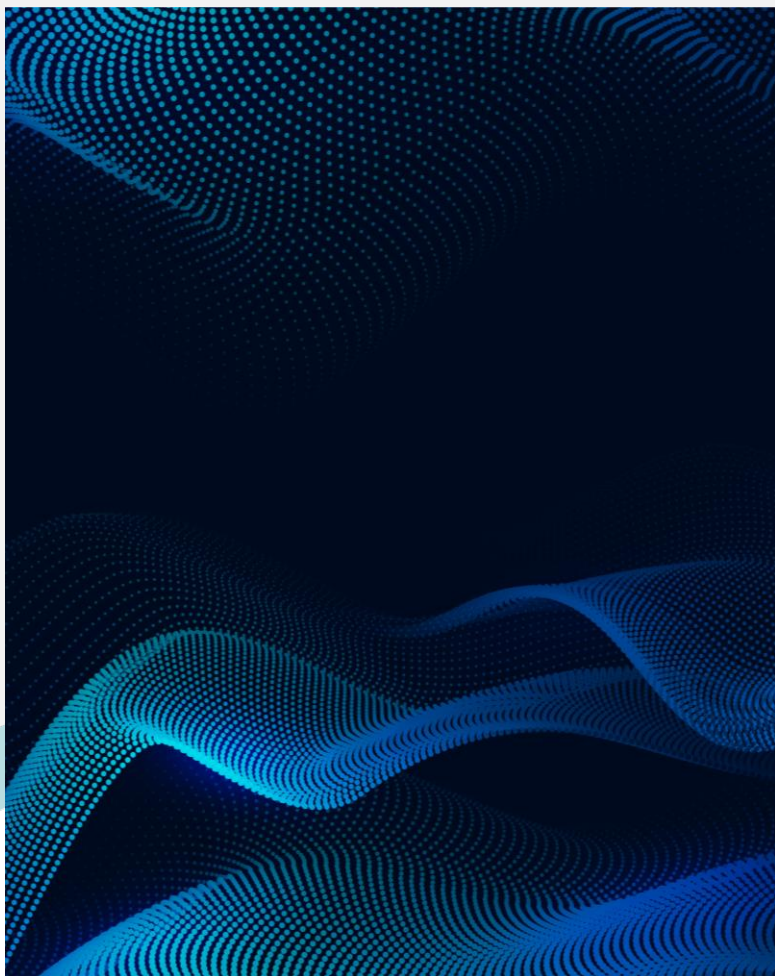
Operação



Remuneração dos agentes



# IARA – Repositório



## **Página do projeto:**

[www.meta2formacaodepreco.com.br/software](http://www.meta2formacaodepreco.com.br/software)

## **Código fonte:**

[github.com/psrenergy/IARA.jl](https://github.com/psrenergy/IARA.jl)

## Home

◦ Installation Guide

## Conceptual

Overview

Formulation &gt;

## Tutorial

Index

Case 1 &gt;

Case 2 &gt;

Case 3 &gt;

Case 4 &gt;

Case 5 &gt;

Case 6 &gt;

Case 7 &gt;

Custom Plots &gt;

## Use Guides

## Developer Docs

Contributing

Development guides

## API Reference

# IARA – Documentação



## Installation Guide

IARA.jl is a Julia package that can be installed using the Julia package manager. First, if you do not have Julia installed, you can download it from the [official website](#). If you are using Julia for the first time, you can follow the [Getting Started](#) guide.

To install IARA.jl, you can run the following command in the Julia REPL:

```
using Pkg

Pkg.add(url="https://github.com/psrenergy/IARA.jl")
```

This will install the package and its dependencies. You can then use the package by running:

```
using IARA
```

To get started on IARA, you can refer to the tutorials listed in the [Tutorial Index](#) section.

[Overview »](#)

# IARA – Usabilidade



## Modificar um caso

```
db = IARA.load_study(PATH_HYDRO; read_only = false);
```

```
IARA.add_bus!(db; label = "Island")
```

## Rodar um caso

```
IARA.train_min_cost(PATH_CENTRALIZED)
```

```
IARA.market_clearing(PATH_MARKET_CLEARING)
```



# IARA - Estudo de caso



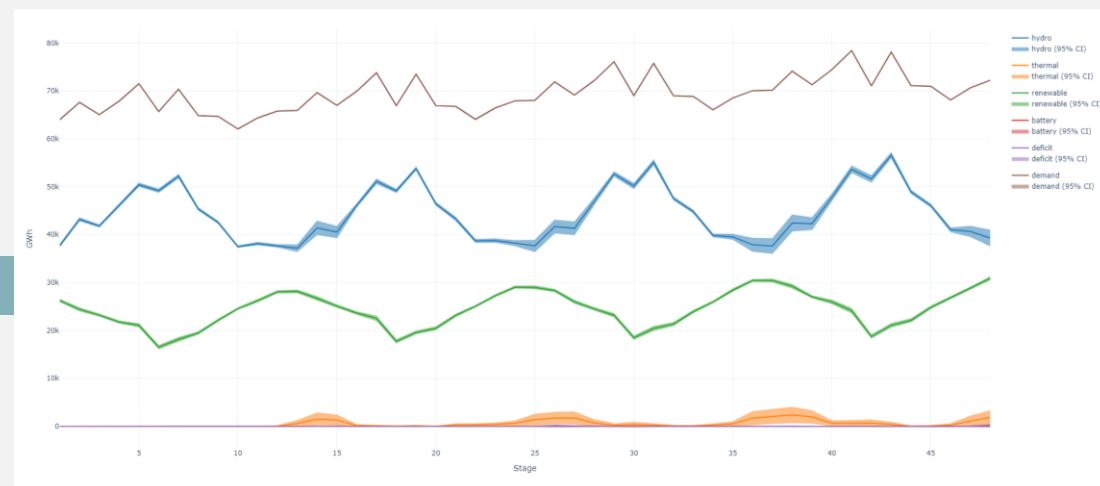
Rodada do Planejamento Mensal da Operação baseado no mês de Setembro

## ✓ Dimensões do caso:

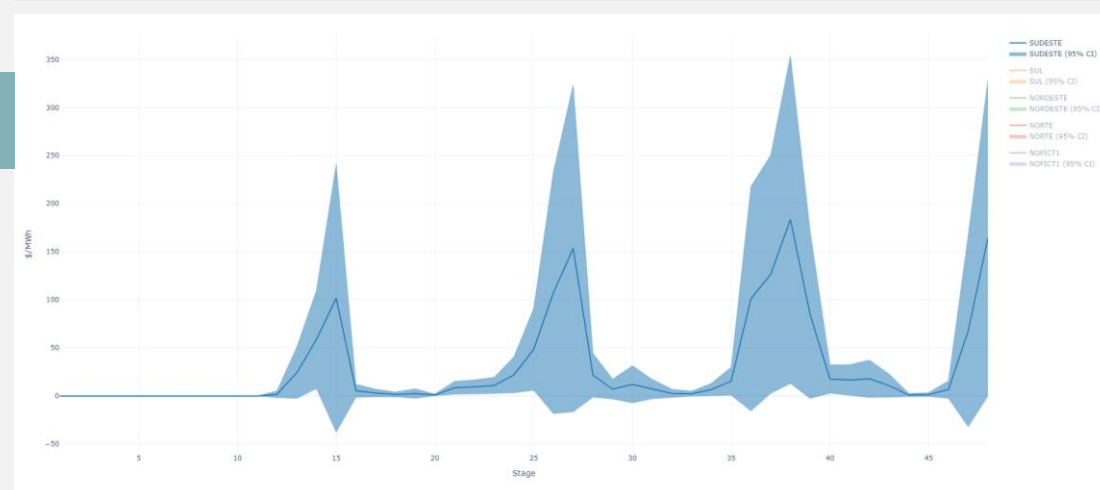
- 48 etapas de resolução mensal (4 anos)
- 50 cenários
- 5 sistemas
- 6 interconexões
- 163 usinas hidrelétricas
- 91 usinas hidrelétricas com reservatório
- 260 usinas renováveis

## ✓ Tempo de Execução: 1 hora

### Geração



### Custo marginal



# Síntese das iniciativas de desenho paralelas



Com base no relatório e.4.r, usamos como ponto de partida este conjunto de elementos de desenho

O relatório e.10.r explorará (com parcimônia) possibilidades adicionais para alguns destes elementos

Quase toda a nossa proposta **independe** destas iniciativas – compatível com refinamentos posteriores

Iniciativa de desenho paralela	Desenho inicialmente considerado	OBS	Análise quanti?
Preço-piso e preço-teto	Piso mais baixo e teto mais alto que é hoje	“Imprescindível”	<b>Parcial</b>
Liquidação dupla	Considerar liq. dupla (mas não múltipla)	“Imprescindível”	<b>Sim</b>
Granularidade espacial e temporal	Manter atual (horário e zonal para preço)	Não-imprescindível	Não
Estrutura modelos preço e despacho	Manter atual (problemas independentes)	Não-imprescindível	<b>Sim</b>
Representação de tecnologias	Neutro à tecnologia nas ofertas (D, UC hidro)	Não-imprescindível	Não
Estrutura de encargos	Simplificado (constrained-on/off)	Fora do escopo	<b>Parcial</b>
Produtos reserva	Não contemplado	Fora do escopo	Não
Desempate quando custos idênticos	Não contemplado	Fora do escopo	Não

# META II FORMAÇÃO DE PREÇO



**Website :**

[www.meta2formacaodepreco.com.br](http://www.meta2formacaodepreco.com.br)



**Palestrante**

**Joaquim Dias Garcia**