

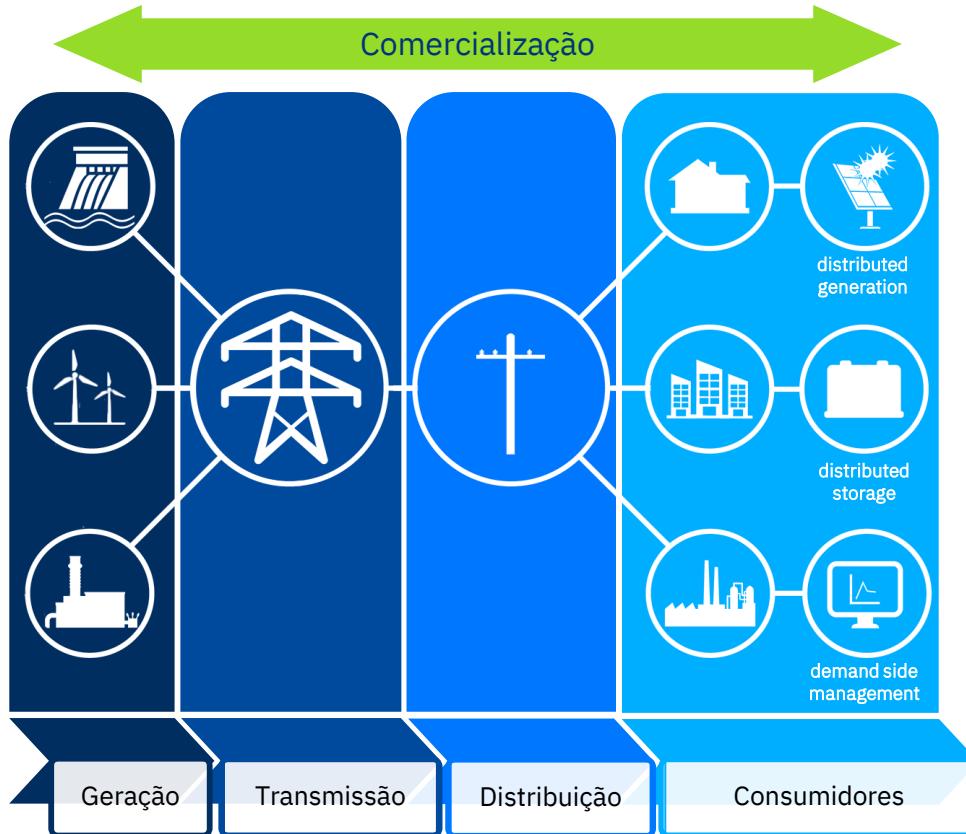
# A Revolução da Inteligência Artificial: Impactos e oportunidades

Experiências no Setor Elétrico

Julio Alberto Silva Dias



# Antes de apresentar a PSR... um pouco de contexto do setor elétrico



## Geração

- Atender à demanda energética
- Minimizar custos e emissões da geração térmica
- Integrar hidrelétricas com renováveis intermitentes

## Transmissão

- Garantir o transporte seguro e eficiente da energia
- Lidar com expansão e congestionamentos da rede

## Distribuição

- Entregar energia com qualidade e confiabilidade,
- Minimizar perdas técnicas/comerciais
- Modernização da rede

## Consumidores

- Combinação de diferentes perfis de consumo
- Promover a eficiência energética e integração de geração distribuída

## Comercialização

- Viabilizar contratos e preços justos
- Equilibrar riscos de mercado e integração de novos agentes

# Atuação da PSR

**Energy Systems Modeling Suite** – Fornecedor de conjunto de modelos integrados que apoiam decisões em todas as camadas do setor elétrico/energético e demais setores acoplados.



Operation Planning



Expansion Planning



Short-term Dispatch



Renewable Modeling



Hydro Modeling

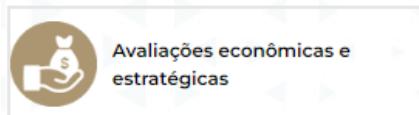


Portfolio Modeling

**Serviços de Consultoria** – Consultoria em avaliações integradas no setor de elétrico/energético, unindo modelagem avançada e experiência regulatória internacional.



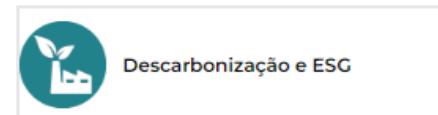
Análises de sistemas de energia



Avaliações econômicas e estratégicas



Análises técnicas de projetos



Decarbonização e ESG



PLANEJAMENTO ENERGÉTICO



PROJEÇÃO DE PREÇOS E TARIFAS,  
INCLUINDO TUST



ANÁLISE DE INVESTIMENTO



GERENCIAMENTO DE RISCOS E  
PORTFÓLIOS



AVALIAÇÃO DE  
IMPACTOS AMBIENTAIS



ESTUDOS DE CONEXÃO  
E ELÉTRICOS



CONSTRUÇÃO DE ESTRATÉGIAS  
DE DESCARBONIZAÇÃO PARA  
EMPRESAS E PAÍSES



INSERÇÃO, ROADMAPS E  
BLUEPRINTS DE TECNOLOGIAS  
DE BAIXO CARBONO



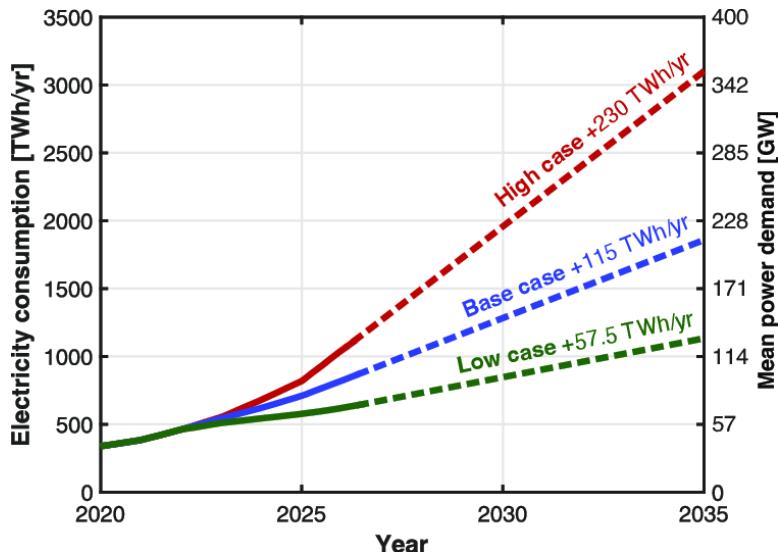


# O setor elétrico precisa da IA – por quê? (exemplos de problemas)





# O setor elétrico precisa da IA, mas a IA precisa do Setor Elétrico



*\*IEA's projected annual electricity consumption and mean power demand from data centers, AI, and cryptocurrencies until 2026 with linear extrapolations toward 2035 for high, base, and low cases.*



**Alto consumo de energia pelos data-centers:** O crescimento da IA aumenta a demanda computacional e o uso de eletricidade em data centers e TI;



**Expansão da capacidade de geração e transmissão:** Para suportar o aumento da demanda energética, é necessário expandir a geração de energia, expandir/modernizar as redes de transmissão, garantindo a estabilidade e a eficiência do sistema elétrico;

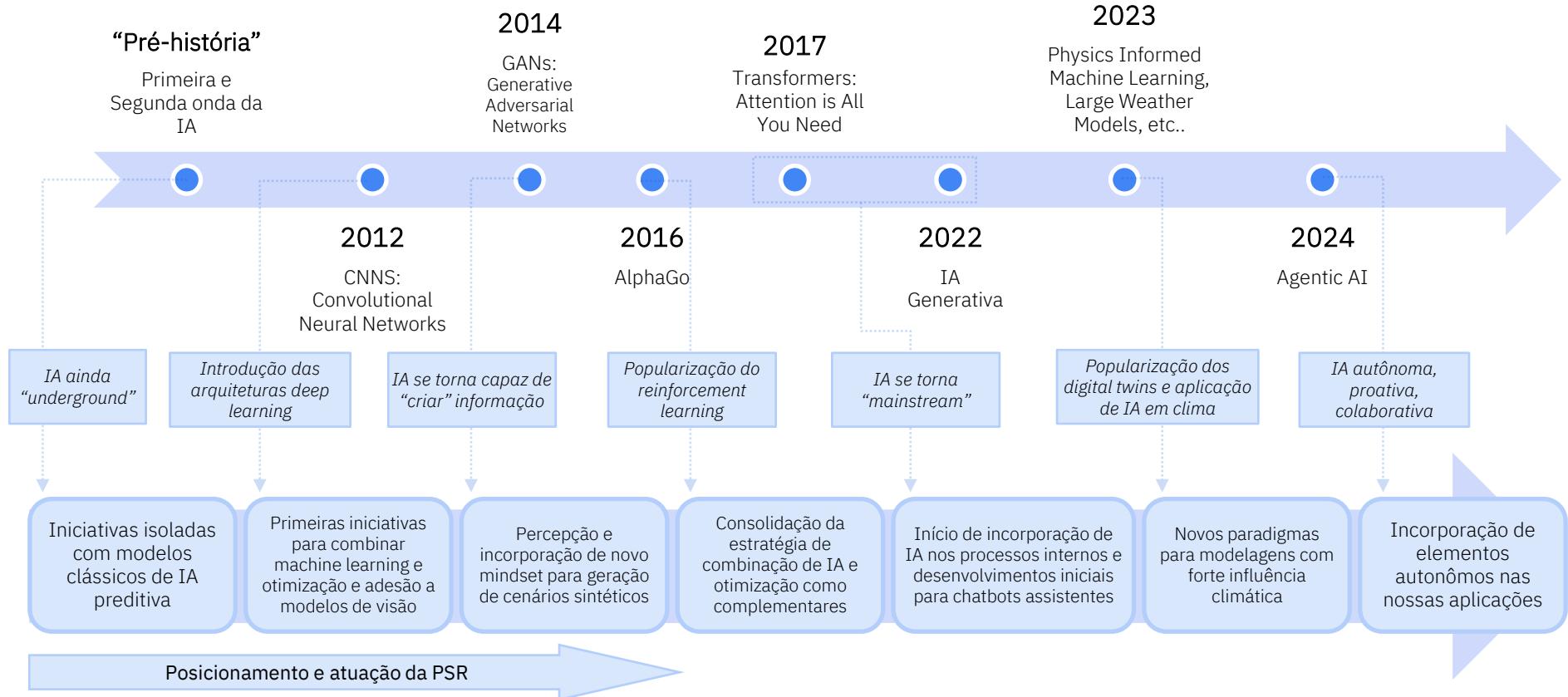


**Otimização da eficiência energética:** Planejamento de uma infraestrutura elétrica robusta e eficiente que minimize desperdícios e maximize a capacidade de geração;

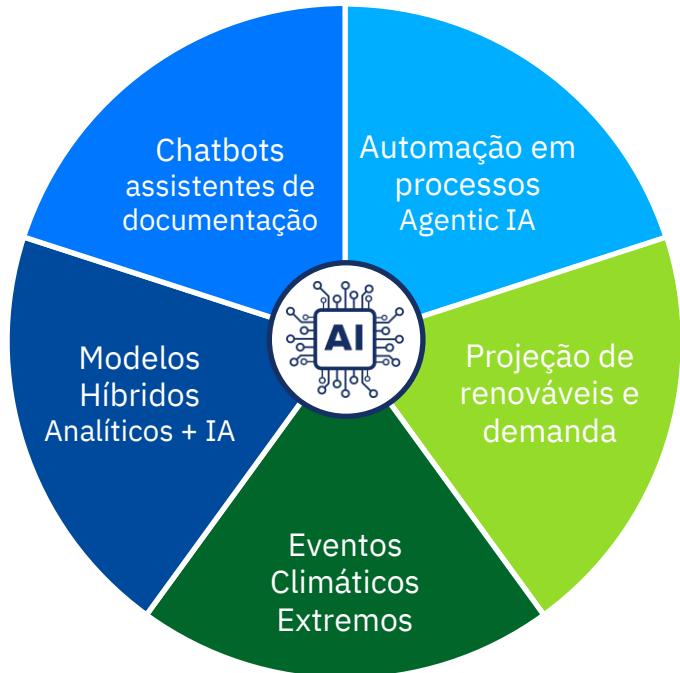


**Necessidade de fontes de energia renováveis:** Mitigar os impactos ambientais através do uso de fontes renováveis, como energia solar, eólica, para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e evitar o aumento das emissões de carbono.

# Marcos recentes da IA moderna e adaptação da PSR



# Onde estamos agora



## Chatbots – Assistentes de documentação

- Oferecer ao usuário busca inteligente e contextualizada em nossas bases de documentação

## Agentic IA – Automação e assistência em processos

- Agente inteligente que auxilia o usuário a operar nossos sistemas

## Projeção de renováveis e demanda

- Gerar cenários futuros realistas de demanda, geração hidrelétrica, eólica e solar a partir de previsões climáticas

## Eventos climáticos extremos

- Avaliar a probabilidade de eventos climáticos extremos e a resiliência das infraestruturas de rede diante dessas novas condições de risco

## Modelos Híbridos - Combinando métodos analíticos e IA

- Combinar a eficiência e fundamentação teórica dos métodos analíticos com a flexibilidade da IA para incorporar representações complexas baseadas em dados



# Chatbots – Assistentes de documentação

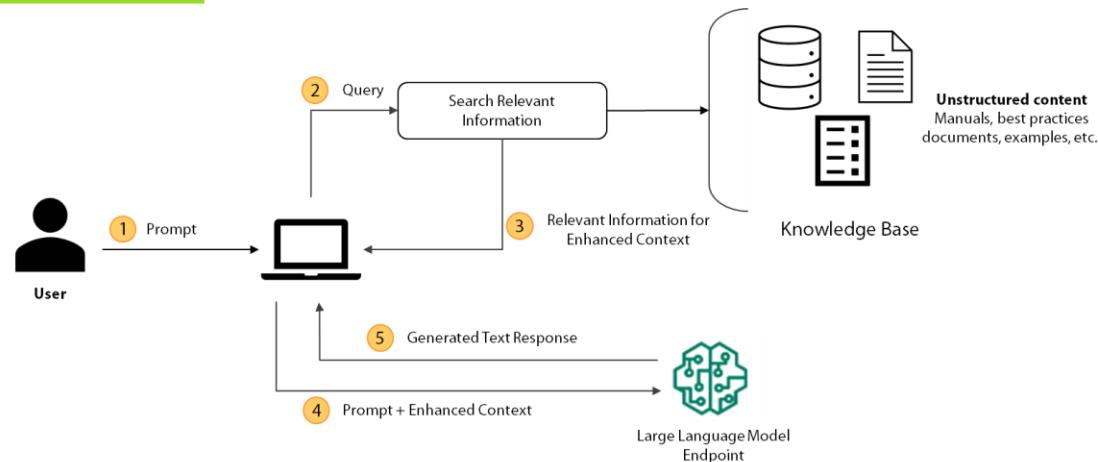
## Motivação

Os modelos computacionais do setor elétrico são complexos: envolvem muitos dados, métodos analíticos avançados, geram muitos índices, etc..

Exigem conhecimento profundo para uso adequado, com documentação extensa resultando em um conjunto de manuais volumosos e difíceis de consumir;

Assistente inteligente permite interação efetiva com a documentação.

## Retrieval Augmented Generation (RAG)





# Agentic IA – Automação e assistência em processos

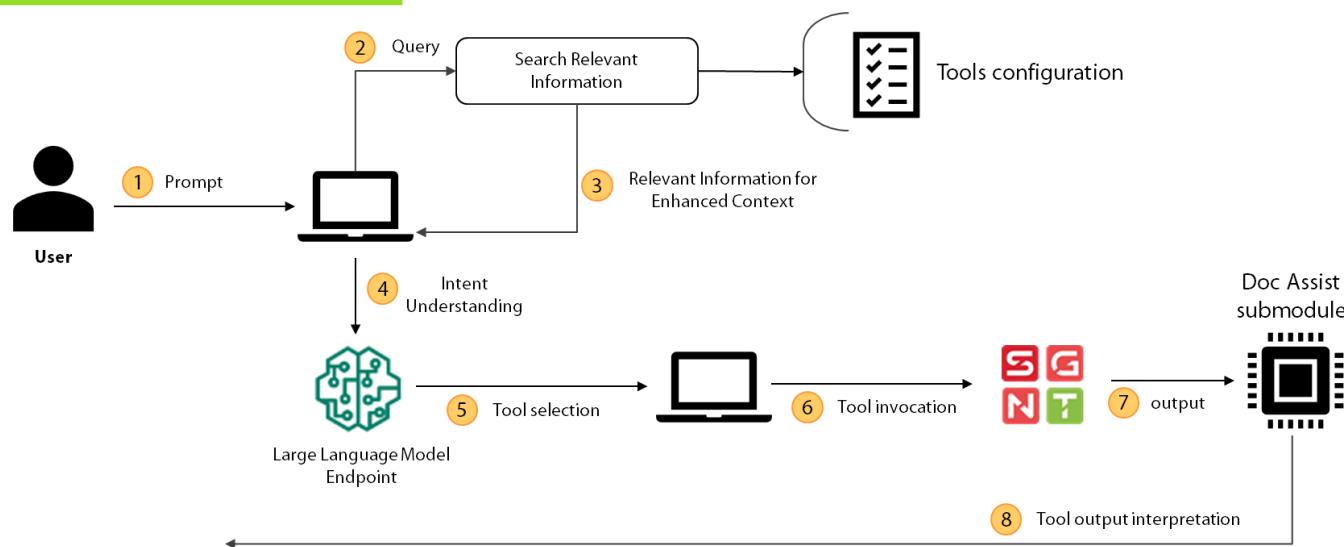
## Motivação

Integra capacidades de uso de ferramentas para executar tarefas especializadas

Oferece assistência ao usuário na execução dos modelos da PSR;

Ex.: manipulação rápida de dados, gerenciamento de execuções, interpretação de erros, etc.

## Arquitetura baseada em agentes de IA



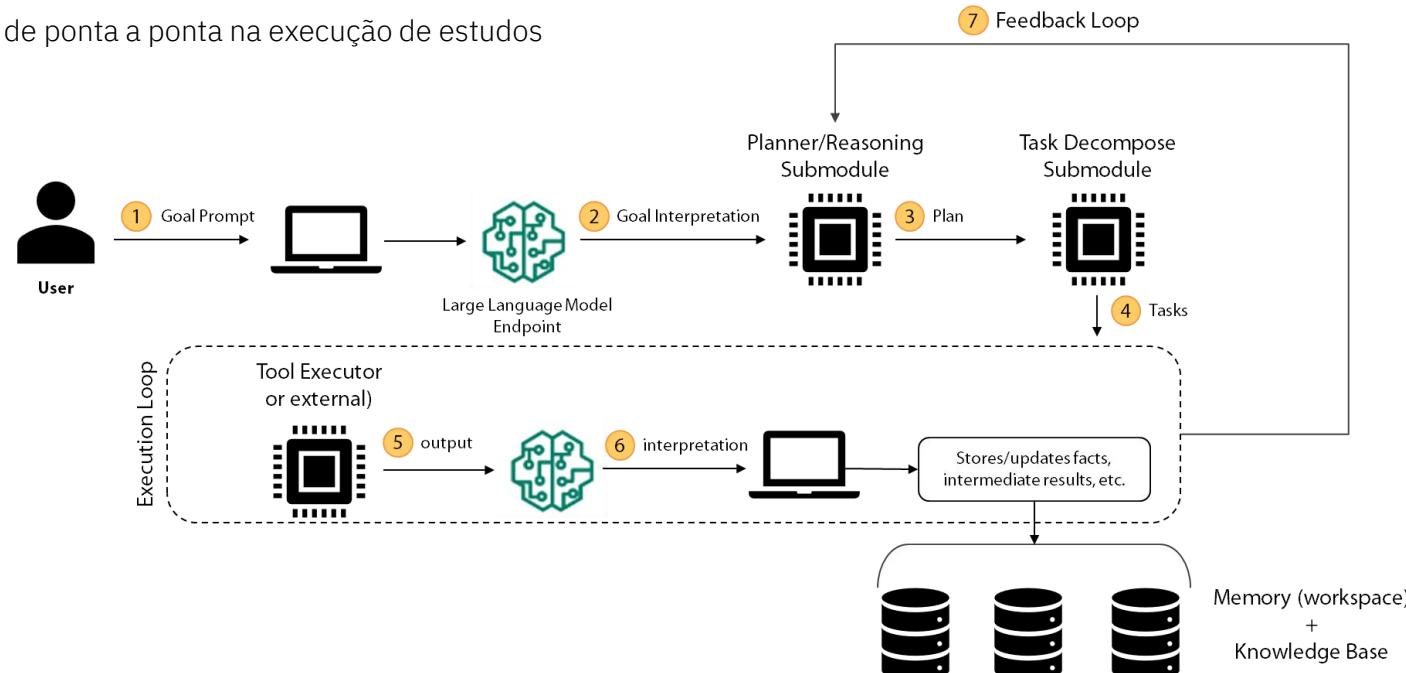


# Agentic IA – Automação e assistência em processos

## Evolução rumo a um assistente completo de planejamento

Introduzir capacidades de raciocínio em agentes

Permitir assistência de ponta a ponta na execução de estudos



# Projeção de Renováveis e Demanda

## A nova caixa de ferramentas

### BASES DE DADOS DETALHADAS E ROBUSTAS

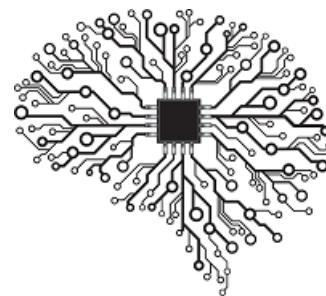
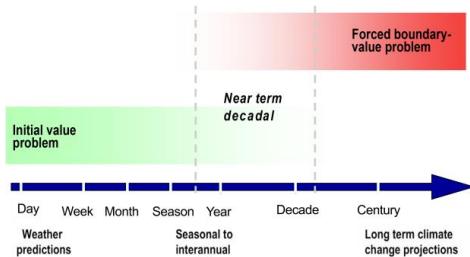
- Pontos de dados em intervalos regulares
- Alta resolução espacial e dados de satélite
- Séries temporais o mais longas possível

### MODELOS CLIMÁTICOS

- Cenários de curto e longo prazo
- Modelagem física e dinâmica do sistema atmosférico
- Capacidade de gerar ensembles (diferentes possíveis trajetórias)

### IA E OTIMIZAÇÃO ESTOCÁSTICA

- Capacidade de aprender a partir de registros históricos e previsões em conjunto de modelos globais de circulação.
- Modelos de otimização estocástica que representam cenários integrados de precipitação, temperatura, vento e irradiação solar.





# Projeção de Renováveis e Demanda

## Motivação

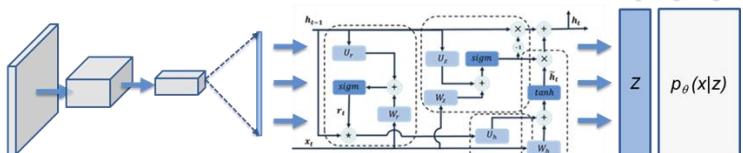
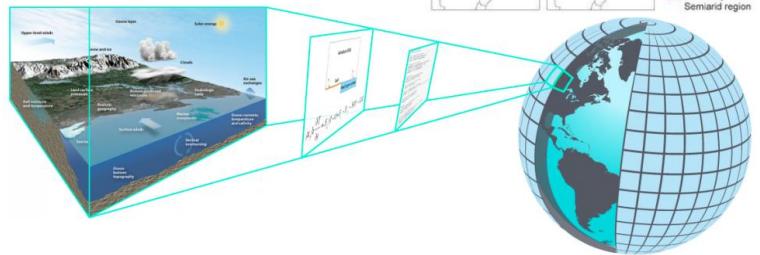
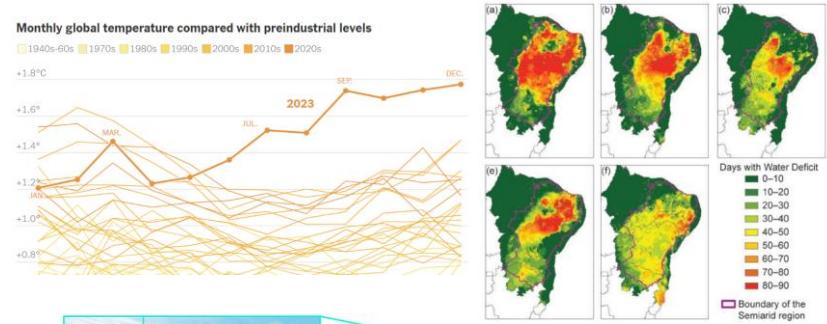
O clima está mudando e confiar apenas em padrões históricos já não é suficiente para projetar o futuro

## Estratégia

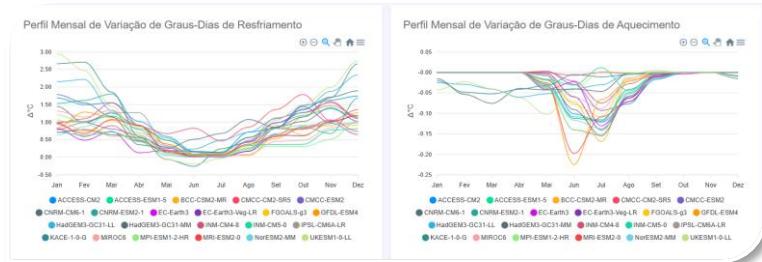
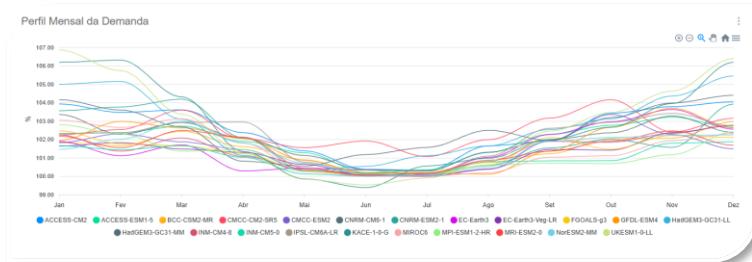
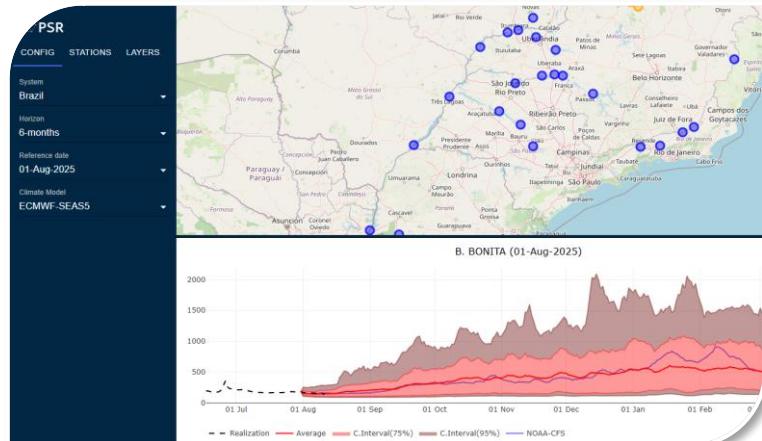
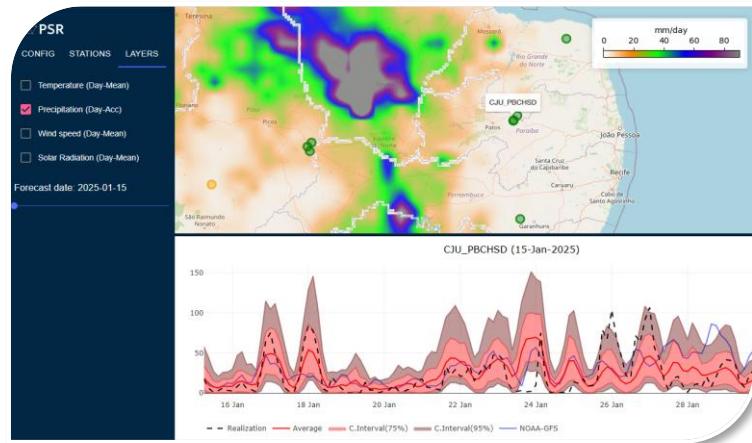
Usar projeções atualizadas dos principais institutos climáticos como entradas exógenas e principais motores da geração de cenários

## Abordagem data-driven

Aprender funções de transferência complexas entre projeções climáticas/meteorológicas e variáveis energéticas sem depender de equações pré-definidas ou do entendimento de processos físicos.



# Projeção de Renováveis e Demanda

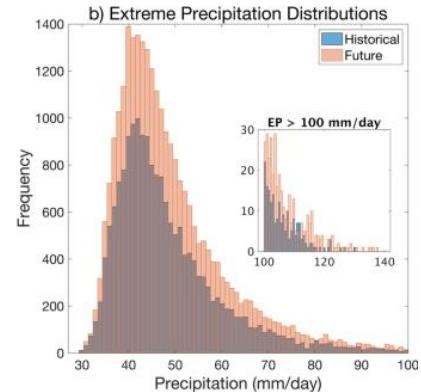
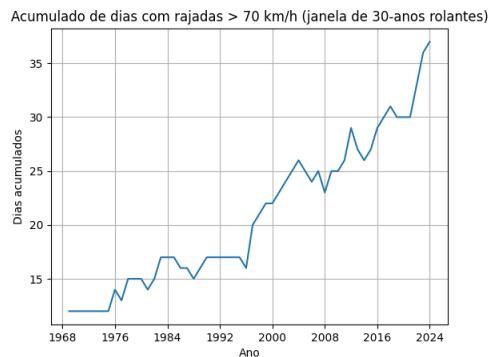




# IA na análise de eventos climáticos extremos

## Objetivo

Avaliar a probabilidade de eventos climáticos extremos sob novas condições, comparando com frequências históricas, e analisar se a infraestrutura e os procedimentos de rede estão preparados para enfrentar esses riscos, fornecendo indicadores de resiliência, suporte à gestão de contingências e valoração do risco



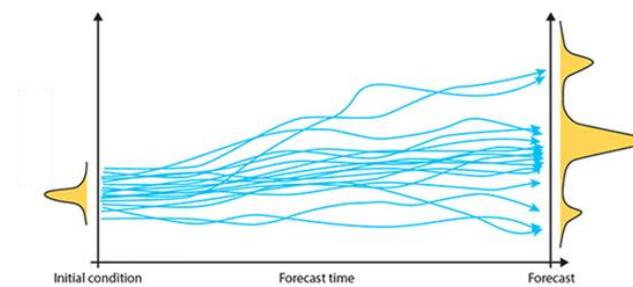
## Contexto deste tipo de análise

O objetivo não é responder se teremos um evento extremo nos próximos dias (modelos físicos ainda são o estado da arte para isso);

Mas sim entender se alguns tipos de eventos estão se tornando mais frequentes ou mais intensos do que no passado recente.

## As limitações dos modelos dinâmicos físicos

Modelos físicos de simulação são caros computacionalmente;  
A dinâmica caótica do clima exige múltiplos cenários para capturar extremos.



## O porquê de abordagens IA

Modelos de IA (Large Weather Models) tem emergido recentemente como alternativa para modelagem de clima.



Google DeepMind



NVIDIA  
RESEARCH

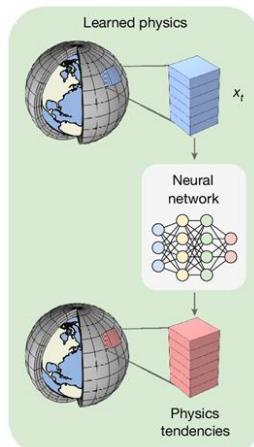
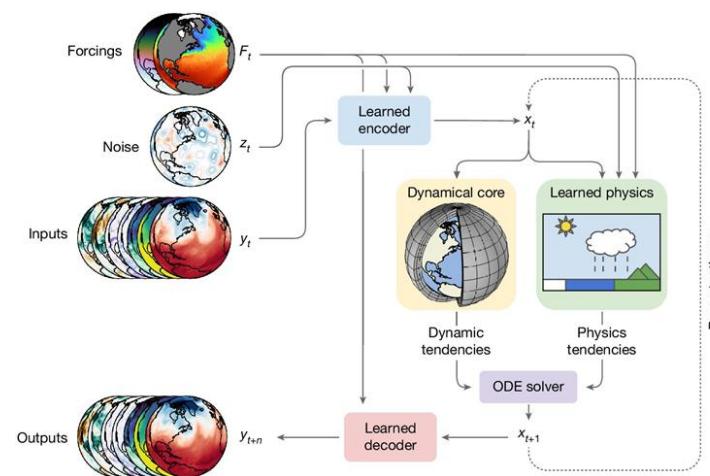


Microsoft

GraphCast

FourCastNet

Aurora



apresentado no LASE 2025



# Métodos Híbridos: Modelos Analíticos e Inteligência artificial

## Programação Dinâmica Estocástica Vs Reinforcement Learning

### Decisão passo a passo

- **RL**: um robô aprende qual ação tomar em cada estado
- **PDE**: o operador decide quanto gerar de cada usina a cada estágio

### Aprendizado com incerteza

- **RL**: o agente não sabe exatamente o próximo estado do ambiente
- **PDE**: não sabemos a afluência futura dos rios

### Equilíbrio entre presente e futuro

- **RL**: explorar agora vs. guardar para ações futuras
- **PDE**: gerar água agora vs. economizar para períodos secos

### Função de recompensa/custo

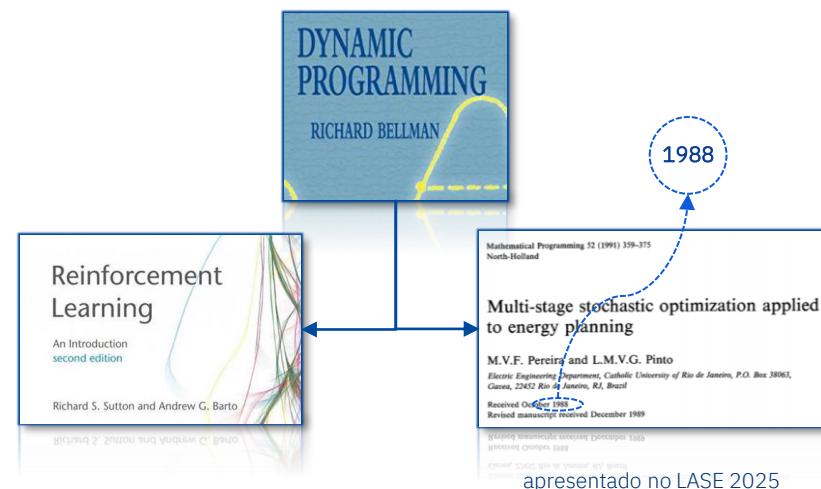
- **RL**: maximizar pontos, vitórias ou lucro
- **PDE**: minimizar custo de operação e risco de déficit

### Política ótima

- **RL**: estratégia que guia o agente em qualquer situação
- **PDE**: regra de operação ótima dos reservatórios

Ambos os métodos compartilham fundamentos semelhantes na abordagem de tomada de decisão sob incerteza: **técnicas de otimização e aprendizado a partir de interações com o ambiente**.

São derivados de **referências bibliográficas em comum**.





# Métodos Híbridos: Modelos Analíticos e Inteligência artificial

## “Surrogate models” para a operação

Combina dados históricos de operação com as equações originais, substituindo partes da formulação por componentes aproximados.

- Reduzir modelos de alto custo por representações aproximadas mais rápidas
- Aumentar significativamente o speedup na resolução de problemas complexos
- Representar componentes sem formulação analítica clara ou de difícil modelagem

Alguns exemplos de aplicação

- Commitment de térmicas na operação horária
- Representação de perdas e limites térmicos em redes
- Restrições de segurança por contingências de circuitos
- Estimativa rápida de estabilidade dinâmica

Conjunto de equações da formulação matemática do problema

$$\sum_{j=1}^J g_t(j) + \sum_{i=1}^I p(v_t(i)) \times u_t(i) = d_t$$

$$0 \leq g_{tk}(j, h) \leq \sigma(j, h) \times \bar{g}_{tk}(j)$$

$$v_{t+1}(i) = v_t(i) + a_t(i) - \varepsilon(v_t(i)) - \sum_{k=1}^K [u_{tk}(i) + s_{tk}(i) + \phi_{tk}(i)]$$

$$\sum_{i=1}^I g_{tk}(i) + \sum_{j=1}^J g_{tk}(j) + \sum_{b=1}^B (\beta_d(b) \times ds_k(b) - cr_k(b)) = d_{tk}$$

$$\sum_{i \in U_r} p(v_t(i)) \times v_t(i) + \delta a_t(r) \geq \underline{eq}_t(r)$$

...

Formulação Completa

Treinamento (estágio offline)

Formulação componentes não substituídos

Formulação componentes (substituídos)

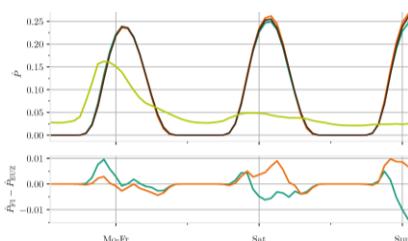
Arquitetura IA

Integração (estágio online)

Formulação componentes não substituídos

Arquitetura IA

Dados históricos de operação





# Menções Honrosas (por questão de tempo e não de importância)

Projetos que combinam GIZ com IA do tipo Computer Vision

Projeto P&D para identificação de cultivos com inteligência artificial



Legend: Manga (Orange), Cana de açúcar (Blue), Uva (Purple), Herbáceas (Red), Coco (White), Café (Pink)

 Google Earth Engine

 Keras API

 Google Cloud



Dados climáticos



5 Cálculo da retirada d'água para uma área



$\Sigma$  áreas

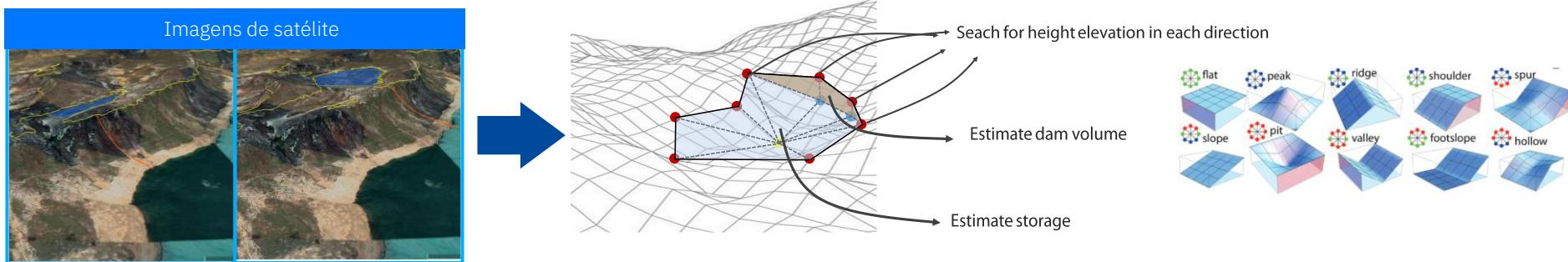
6 Retirada d'água total na bacia hidrográfica (ou usinas)



# Menções Honrosas (por questão de tempo e não de importância)

## Projetos que combinam GIZ com IA do tipo Computer Vision

### Projeto P&D para inventário de reversíveis com inteligência artificial



## Parcerias externas

- Parceria estratégica com a NVIDIA, na construção de um trabalho com a PSR, envolvendo fornecimento de GPUs de última geração e promoção de intercâmbio técnico entre as equipes



apresentado no LASE 2025

# Conclusão

## Potencial da Inteligência Artificial

- **Diversidade de aplicações:** agentic IA, previsão de renováveis, surrogate models, análise de risco, entre outros;
- **Novos métodos promissores:** Técnicas de aprendizado de máquina e otimização estocástica que podem ser aplicadas a diferentes problemas;
- **Potencial além do setor elétrico:** Ferramentas e abordagens podem ser estendidas a outros setores complexos;
- **Exploração de oportunidades:** A variedade de aplicações indica que há muito a ser explorado e aproveitado em pesquisa e operação.

## Desafios

- **Falta de marco regulatório claro** para uso de IA no setor elétrico;
- **Riscos de IA generativa:** uso de informação crítica e sensível com potenciais impactos operacionais;
- **Governança de IA e confiabilidade:** necessidade de controle sobre outputs de modelos e decisões automatizadas e garantir que modelos não comprometam a operação ou divulguem informações sensíveis;
- **Transparência, qualidade e integração de dados** ainda são obstáculos para modelagem robusta;

São exemplos positivos as plataformas *opendata* do ONS e CCEE, que fornecem dados detalhados e padronizados, e que são insumos valiosos para gerar ideias e soluções.