

Relatório anual de atividades

# **INCT CAPE**

**Instituto Nacional de Ciência e  
Tecnologia em Controle e Automação  
de Processos de Energia**

Período: janeiro 2023 - dezembro 2023

# INCTCAPE

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia  
em Controle e Automação de Processos de  
Energia - INCT CAPE

Coordenador  
Julio Elias Normey-Rico

Sub coordenador  
Rodolfo César Costa Flesch

R. Delfino Conti, Centro Tecnológico,  
Universidade Federal de Santa Catarina,  
Florianópolis - SC88040 - 900

URL: <https://inctenergia.ufsc.br/>



Universidade Federal de Santa Catarina -  
UFSC

R. Eng. Agrônomo Andrei Cristian  
Ferreira, s/n - Trindade, Florianópolis - SC,  
88040-900

URL: <https://ufsc.br/>

---

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Controle e Automação de Processos de Energia.

Relatório anual de atividades | Período: Janeiro à Dezembro de 2023 / INCT CAPE -  
Florianópolis, 2023.

36 páginas: 2 il.: 23cm.

1. Energia. 2. Petróleo e gás. 3. Microrredes. 4. Hidrogênio verde. 5. Controle e Automação.

---

Autorizada a reprodução do conteúdo deste documento, desde que obrigatoriamente citada a fonte.  
Reprodução para fins comerciais são rigorosamente proibidas.

# Sumário

<b>Apresentação do relatório</b>	<b>4</b>
<b>Equipe atuante em 2023 do INCT</b>	<b>4</b>
<b>Estrutura do INCT CAPE</b>	<b>6</b>
<b>Reuniões</b>	<b>6</b>
<b>Pesquisas realizadas</b>	<b>7</b>
Laboratório de controle de microrredes com geração e armazenamento de H2	7
Controle e automação da produção de petróleo	7
Sistemas de produção de hidrogênio verde	8
Modelagem, Monitoramento e Estimação de Parâmetros em Baterias de Li-Ion	9
Modelagem e Controle de Sistemas de Energia Térmica Renovável	9
<b>Orientação de trabalhos</b>	<b>10</b>
Iniciação científica	10
Projeto de Fim de Curso	13
Supervisão de Estágio	13
Mestrado	14
Doutorado	16
Pos-Doutorado	17
<b>Participação em eventos</b>	<b>18</b>
<b>Visitas técnicas e missões de pesquisa realizadas</b>	<b>19</b>
<b>Atividades de divulgação</b>	<b>22</b>
<b>Workshops e eventos organizados</b>	<b>23</b>
I Workshop INCT CAPE 2023	23
COBEQ e ENBEQ 2023	23
<b>Participação em eventos científicos</b>	<b>23</b>
<b>Participação em redes e projetos de pesquisa nacionais e internacionais</b>	<b>24</b>
INCITERE	24
RED CYTED H2TRANSEL	25
Projeto INTEREST	25
<b>Artigos publicados em Revistas</b>	<b>26</b>
<b>Artigos publicados em congressos</b>	<b>27</b>
<b>Projetos de plantas piloto</b>	<b>29</b>
Microrrede com geração renovável e armazenamento híbrido	29
Planta de produção de H2 verde	32
<b>Modernização de plantas piloto</b>	<b>35</b>
Planta do LEEM	35
<b>Comentários Finais</b>	<b>36</b>

## Apresentação do relatório

Este relatório apresenta as atividades realizadas durante o ano de 2023 pelos integrantes do INCT CAPE. A equipe do INCT CAPE é composta por professores e pesquisadores de várias universidades, estudantes de graduação, mestrado e doutorado e engenheiros de empresas parceiras.

## Equipe atuante em 2023 do INCT

<b>Nome</b>	<b>Categoria</b>	<b>Universidade/Empresa</b>
Julio Elias Normey-Rico	Coordenador	UFSC
Rodolfo César Costa Flesch	Sub coordenador	UFSC
Gustavo Artur de Andrade	Professor/Pesquisador	UFSC
Marcus Vinícius Americano da Costa Filho	Professor/Pesquisador	UFSC
Jose G. Garcia Clua	Professor/Pesquisador	UNLP
Daniel Martins Lima	Professor/Pesquisador	UFSC
Daniel Ferreira Coutinho	Professor/Pesquisador	UFSC
Bismark C. Torrico	Professor/Pesquisador	UFC
Max Hering de Queiroz	Professor/Pesquisador	UFSC
Márcio André Fernandes Martins	Professor/Pesquisador	UFBA
Carlos Bordons	Professor/Pesquisador	Univ. Sevilla
Miguel Angel Ridao	Professor/Pesquisador	Univ. Sevilla
Adriano Silva Martins Brandão	Pós-Doutorado	UFSC
Marcelo Menezes Morato	Pós-Doutorado	UFSC
Poliana P. da Silva Quirino	Pós-Doutorado	UFBA

Franthiescolly Vieira de Carvalho	Doutorado	UFSC
Isaías Valente de Bessa	Doutorado	UFSC
João Bernardo Ribeiro	Doutorado	UFSC
Alexandre Horn	Doutorado	UFSC
Maria A. De Freitas Marques	Doutorado	UFBA
Angelo Gabriel dos Santos	Doutorado	UFBA
Michael F. da Silva Barbosa	Mestrado	UFSC
Gabriel Bressanini	Mestrado	UFSC
João Pedro Brunoni	Mestrado	UFSC
Mateus Abreu de Andrade	Mestrado	UFSC
Caio César Branco Nunes	Mestrado	UFSC
Kaike Castro Carvalho	Mestrado	UFSC
Bruno Forte de Lunardi Pinto	Iniciação científica	UFSC
Pedro de B. e C. Cantanhede	Iniciação científica	UFSC
Johannes Daniel Fischer	Iniciação científica	UFSC
Gustavo H. S. de Santana	Iniciação científica	UFSC
Vinicius M. Borges Celeri	Iniciação científica	UFSC
Gabriela da Costa	Iniciação científica	UFSC
Alejandro Robinson	Iniciação Científica	UFSC
Bruno Kretzer Barotto	Iniciação Científica	UFSC
Rafael H. de Santana	Iniciação Científica	UFSC
Amir Naspolini	Iniciação Científica	UFSC
Gabriel Barbosa	Iniciação Científica	UFSC
Leandro dos Santos	Iniciação Científica	UFSC
Cristiano Rubira	Apoio técnico	UFSC

## Estrutura do INCT CAPE

### **Comitê Gestor de Recursos**

Julio E. Normey-Rico, Rodolfo C. Costa Flesch, Marcus V. Americano da Costa, Max H. de Queiroz, Daniel M. Lima

### **Conselho Científico**

Tito L. Maia Santos, Marcio A. Fernandes Martins, Bismark C. Torrico, Daniel F. Coutinho

## Reuniões

Durante 2023 se realizaram reuniões mensais conjuntas dos comitês, com convite para participação de outros membros, com o objetivo de organização de atividades de pesquisa, divulgação e especificação de equipamentos.

## Pesquisas realizadas

### Laboratório de controle de microrredes com geração e armazenamento de H<sub>2</sub>

Um dos objetivos do projeto é a proposição de novas técnicas/metodologias para o gerenciamento de microrredes, em especial, aquelas que incluem hidrogênio verde. O hidrogênio é dito verde quando é produzido utilizando excedente de energia de fontes renováveis. Ou seja, o hidrogênio é utilizado como vetor de armazenamento de energia, um problema que, hoje, é uma barreira que impede a adoção em larga escala de energias renováveis pois, em sua maioria, não possuem uma geração constante de energia, pois dependem de fatores externos não controláveis, tal como irradiação solar e ventos nos casos da fotovoltaica e eólica, respectivamente. E, por outro lado, em certos momentos estas fontes de energia são subutilizadas pois o consumo num certo momento é abaixo da quantidade de energia que se poderia produzir. Nestes momentos, idealmente, o excedente de energia seria armazenado. No entanto, os métodos tradicionais de armazenamento de energia, por exemplo, baterias, tem muitos problemas para uso em larga escala, por exemplo, custo e durabilidade. O hidrogênio verde é uma tecnologia alternativa de armazenamento de energia.

Assim, parte das atividades de pesquisa do INCT CAPE foram orientadas para a implementação de uma microrrede com geração e armazenamento de hidrogênio verde que permita a validação de controladores locais dos subsistemas (controladores de corrente/tensão, controladores da geração de H<sub>2</sub> e produção de energia a partir de H<sub>2</sub>), mas também controladores nas camadas superiores de controle, que farão o gerenciamento ótimo do fluxo de energia das diferentes partes da microrrede. Esta microrrede ainda está em construção, com parte dos equipamentos instalados e outros em fase de compra e instalação.

Paralelamente às atividades relacionadas com o laboratório, foram estudadas estratégias de controle preditivo para o controle de microrredes, utilizando modelos simulados para teste dos algoritmos de controle e considerando diversos aspectos/objetivos como a maximização da produção de energia, a satisfação do usuário da microrrede em casos onde se usam estratégias de controle de cargas e tratamento de falhas nos equipamentos da microrrede.

### Controle e automação da produção de petróleo

Em processos de produção de petróleo e gás natural, o potencial impacto científico das pesquisas a serem realizadas no INCT está associado aos métodos de controle avançado a serem desenvolvidos com o objetivo de otimizar a produção de óleo e gás. Especificamente, foram feitos desenvolvimentos teóricos nas linhas de MPC não linear (NMPC) e econômico (EMPC) com modelos aproximados para serem utilizadas na técnica do gas-lift.

Em geral, para que se possa extrair petróleo de um reservatório e conduzi-lo até a superfície, é necessário usar alguma estratégia de elevação artificial no poço produtor. A técnica do gas-lift consiste na injeção de um gás pressurizado oriundo da plataforma até o fundo do mar através de uma tubulação exterior ao poço (tubo anular). Esta injeção é feita através de válvulas ao longo do tubo de produção, de forma a diminuir a densidade do fluido que está sendo extraído e permitir que a pressão do reservatório seja suficiente para elevá-lo até a superfície. O gás usado para este processo é, em geral, extraído do próprio reservatório e seu processamento se dá em unidades instaladas na plataforma. O modelo deste sistema é bem complexo, principalmente quando o número de poços atendidos em uma plataforma aumenta, e o seu controle de forma a maximizar a produção atendendo todas as restrições de operação exige o uso de técnicas de controle, automação e otimização avançadas. Neste projeto, técnicas de controle preditivo foram utilizadas. Duas abordagens foram estudadas, uma baseada num controle preditivo econômico (EMPC - *economic MPC*) que utiliza a técnica de modificadores e outra num NMPC com a técnica modelos lineares a parâmetros variáveis (LPV). A abordagem mais comum para otimização da produção de petróleo consiste na utilização de uma camada de otimização em tempo real (OTR), a qual é usada para a definição dos valores de referência a serem usados pelos controladores do processo. A solução com técnicas de MPC econômico permite integrar as camadas de otimização e controle, possibilitando a operação de ambas com o mesmo modelo e utilizando o mesmo período de amostragem. Por outro lado, o NMPC baseado em técnicas LPV pode ser usado para acelerar o tempo de cômputo do algoritmo e permitir assim a implementação em tempo real do sistema de controle. As técnicas foram testadas em simuladores fenomenológicos do processo, e no futuro, o desenvolvimento e a validação dos controladores em bancadas experimentais será realizada.

## Sistemas de produção de hidrogênio verde

**Modelagem e estimação de estados:** nesta pesquisa são desenvolvidos modelos matemáticos e estimadores de estados de eletrolisadores com membranas por troca de prótons (PEM) para fins de controle e análise dos fenômenos eletroquímicos, termodinâmicos e hidrodinâmicos. Basicamente, o eletrolisador é composto por pilhas em série com múltiplas células de eletrólise, dentro das quais ocorrem as reações. A água de alimentação é bombeada para o canal anódico do eletrolisador. À medida que os elétrons são atraídos por uma fonte de alimentação CC externa, a água é decomposta em oxigênio e prótons na superfície do eletrodo, e os prótons são atraídos para o cátodo carregado negativamente através do MEA. Os prótons são convertidos em hidrogênio no eletrodo catódico através da combinação com os elétrons fornecidos pela fonte de energia DC. O hidrogênio sai do cátodo com água e é enviado para o separador de hidrogênio/água, enquanto a água e o oxigênio que não reagiram do canal anódico são enviados para o separador de oxigênio/água. A pressão de migração dos prótons é alta e a pressão do cátodo pode ser aumentada.

Neste contexto, qualquer modelo de eletrolisadores PEM deve levar em consideração as relações entre a conservação da massa dentro do cátodo e do ânodo, a cinética da reação, as propriedades termodinâmicas e a tensão auxiliar. Tendo em mente estes princípios, um modelo



geral para descrever os estados do sistema pode ser desenvolvido. Nesta pesquisa, um modelo baseado na teoria de equações diferenciais parciais foi desenvolvido. Nele, os mecanismos de transporte da água são caracterizados pelas equações de conservação de massa, e momento de um escoamento multifásico. Enquanto que as reações eletroquímicas são descritas pelas equações clássicas da lei de Faraday aplicada aos eletrolisadores.

**Otimização da produção de hidrogênio de eletrolisadores:** Os sistemas de produção de hidrogênio alimentados por energia solar fotovoltaica apresentam dinâmicas não lineares e descontinuidades que devem ser levadas em consideração quando um sistema de controle é aplicado. O propósito principal do sistema de controle é manter a corrente do eletrolisador no ponto de operação desejado e, ao mesmo tempo, otimizar o consumo de energia da rede apesar da variabilidade da energia solar. Os controladores clássicos, como os PID, não conseguem obter um bom desempenho em toda a faixa de operação deste tipo de planta devido às características acima mencionadas. Para superar essas limitações, esta pesquisa propõe metodologias de controle preditivo baseado em modelo e controle ótimo que otimizam diferentes funções de custo que consideram a energia da rede, o consumo e a eficiência do controlador.

## Modelagem, Monitoramento e Estimação de Parâmetros em Baterias de Li-Ion

Nesta linha de pesquisa, estuda-se o problema de modelagem, monitoramento e estimação de parâmetros em baterias de Li-Ion para estimação dos estados de carga e saúde. A primeira etapa do projeto consistiu na implementação de um sistema de testes experimentais para baterias incluindo desenvolvimento de software de monitoramento, estudo de modelos equivalentes elétricos, determinação de parâmetros do modelo através de testes experimentais e utilizando banco de dados.

## Modelagem e Controle de Sistemas de Energia Térmica Renovável

Nesta linha de pesquisa, dois tipos de processos de energia térmica renovável estão sendo investigados: (i) sistemas de energia termossolar e (ii) geração de vapor a partir de caldeiras a biomassa. As fontes renováveis desempenham um papel importante na matriz energética e cadeia produtiva sustentável no Brasil, sendo necessário cada vez mais a formação de profissionais qualificados e o desenvolvimento de tecnologias que aumentem a eficiência e diminuam os custos operacionais desses processos. Para o funcionamento eficiente das plantas de energia térmica, aspectos econômicos e restrições de operação dos seus processos devem ser considerados, de forma a atingir o ponto de operação factível de máxima produção.

Desse modo, estratégias de controle e de otimização dinâmica representam soluções concretas para lidar com as inúmeras perturbações, acoplamentos e não linearidades das plantas a fim de garantir a sua melhor produtividade. Como resultados, têm-se maior acúmulo de energia térmica e menor consumo de insumos e de geração de energia poluente.

Como parte da pesquisa se realizará a concepção e a construção de uma planta piloto para a validação experimental de novas soluções práticas para o uso do calor solar em processos industriais (SHIP - Solar Heat for Industrial Processes), bem como o desenvolvimento e a aplicação de técnicas de modelagem matemática, simulação, otimização dinâmica e controle avançado automático. Até o presente momento, a pesquisa tem avançado em trabalhos com modelos simulados e na especificação de componentes e equipamentos para serem instalados na planta piloto. Na modelagem dos processos, fundamentais para o desenvolvimento dos controladores avançados, a pesquisa tem feito uso de dados industriais e testes experimentais, contando com a participação da Biocal Burntech (<https://burntech.ind.br/>), uma empresa que atua no setor de energia térmica situada na cidade de Agrolândia-SC.

## Orientação de trabalhos

Durante o período considerado foram orientados diversos trabalhos de pesquisa e desenvolvimento na forma de projetos de iniciação científica, de fim de curso, mestrado, doutorado e pós-doutorado. Na sequência se relacionam os trabalhos.

### Iniciação científica

- Amir Carlos Napolini Filho

**Tema da pesquisa:** Esta pesquisa focaliza o controle preditivo aplicado a microrredes, concentrando-se na gestão de cargas e na produção de hidrogênio. O principal objetivo é otimizar a utilização dos dispositivos de armazenamento de energia, alimentados por fontes renováveis, para atender à demanda energética quando essas fontes não são suficientes. O intuito é reduzir a dependência da rede externa, contribuindo para a diminuição do uso de combustíveis fósseis e melhora da eficiência, dado que parte da energia entregue pela rede externa é produzida com fontes não renováveis e usando a energia produzida localmente se consegue maior eficiência. Na microrrede estudada, a produção de hidrogênio se realiza com um eletrolisador, e o H<sub>2</sub> é explorado como meio adicional de armazenamento de energia na microrrede. O hidrogênio armazenado pode ser reutilizado como fonte de energia por meio de células combustíveis, que transformam o H<sub>2</sub> em eletricidade. Na pesquisa realizada a microrrede também considerou o controle das cargas, de forma que o momento e a intensidade com que estas são acionadas depende das ações do sistema de controle, que busca por um lado

minimizar o consumo de energia da rede externa, e por outro não prejudicar demasiado o funcionamento do sistema, considerando para isso métricas de satisfação do usuário, por exemplo.

**Orientadores:** Julio Elias Normey-Rico e Marcelo Menezes Morato.

- Gabriel Barbosa

**Tema da pesquisa:** Projeto integrado de plantas produtoras de H<sub>2</sub> verde. O dimensionamento de uma planta produtora/utilizadora de energia com uso de H<sub>2</sub> verde exige a utilização de técnicas de otimização que não podem desconsiderar aspectos de controle, o que exige realizar um projeto integrado, que encontra em um único problema de otimização o controle e a configuração da planta. Apesar de esta técnica ser bem conhecida, a sua aplicação em microrredes é pouco estudada, e não há trabalhos específicos para plantas que utilizam H<sub>2</sub> verde na microrrede, o que permite a realização de uma pesquisa inédita e desafiadora. O estudo até o momento está nas fases iniciais de desenvolvimento, com a implementação dos algoritmos de otimização em softwares adequados para a posterior aplicação nos modelos do sistema de produção de H<sub>2</sub>.

**Orientadores:** Julio Elias Normey-Rico e Marcelo Menezes Morato.

- Bruno Forte de Lunardi Pinto
- Pedro de Bem e Canto Cantanhede

**Tema de pesquisa:** nesta pesquisa estudam-se diferentes metodologias de controle preditivo e funções de custo para Otimização da Produção de Hidrogênio Verde. O processo de produção de hidrogênio verde escolhido é baseado na tecnologia de eletrolisadores com membrana de troca de prótons alimentados por painéis solares, turbinas eólicas e pela rede elétrica. Até agora, um simulador modular do eletrolisador foi desenvolvido no software Simscape da Mathworks. Esse simulador possui estrutura flexível e interface gráfica bem definida para facilitar a mudança de configuração do sistema. Os resultados de simulação durante um dia em condições de operação normal foram validados qualitativa e quantitativamente com dados reais de um eletrolisador de pequeno porte. Os próximos passos da pesquisa envolvem a formulação matemática do problema de controle e a implementação das técnicas de controle preditivo.

**Orientador:** Gustavo Artur de Andrade

- Bruno Kretzer Barotto

**Tema de pesquisa:** nesta pesquisa está sendo proposta uma nova arquitetura de conversor de potência para integração de baterias estacionárias de lítio em microrredes, bem como os sistemas de medição que devem ser integrados e esse conversor para permitir o controle adequado do sistema. Na fase atual, o trabalho se concentra na especificação dos componentes para construção de um protótipo instrumentado de inversor de frequência para operação bidirecional (carregamento do banco de baterias ou uso da energia acumulada empregando o mesmo inversor).

**Orientador:** Rodolfo C. C. Flesch.

- Vinicius Mendonca Borges Celeri  
**Tema de Pesquisa:** Neste tema, focaliza-se o estudo de processos de geração de vapor a partir de caldeiras a biomassa, para posterior implantação de um sistema de controle preditivo e otimização econômica para caldeiras de vapor a biomassa. As temáticas compreendem modelagem matemática de caldeiras de vapor a biomassa, simulação computacional e aplicação de estratégias de controle automático. Até o presente momento, as pesquisas têm avançado na modelagem dos processos, usando modelos fenomenológicos para descrever os diferentes fenômenos termodinâmicos e usando dados experimentais de caldeiras da Biocal Burntech.  
**Orientador:** Marcus V. Americano da Costa Filho.
- Gustavo Henrique Santos de Santana
- Johannes Daniel Fischer  
**Tema de pesquisa:** Controle Preditivo para Gestão de Carga em Microrredes Renováveis usando métricas de Qualidade da Experiência. Neste tema, analisa-se o projeto de controladores MPC para a gestão de carga de microrredes renováveis, considerando: (i) a inclusão de penalidades nas funções de custo, visando ponderar o desconforto causado pela gestão de demanda; e (ii) o uso de métricas de gestão baseadas na Qualidade de Experiência, que descreve a satisfação dos consumidores. Até o momento a pesquisa tem avançado na parte de modelagem da microrrede e no estudo das ferramentas de controle e otimização a serem utilizadas.  
**Orientadores:** Marcelo Menezes Morato e Julio Elias Normey-Rico.
- Gabriela da Costa  
**Tema de pesquisa:** Otimização da Produção de Petróleo via Gás-Lift utilizando Controle Preditivo Não-linear e LPV. Neste tema, resolver os problemas de controle relacionados à técnica de gás-lift, técnica amplamente utilizada em países que dependem exclusivamente da produção de petróleo, considerando abordagens de controle preditivo não linear. Até o momento a pesquisa tem avançado na parte de modelagem do processo, simulação dos cenários a serem considerados e no estudo das ferramentas de controle MPC LPV a serem utilizadas.  
**Orientadores:** Marcelo Menezes Morato e Julio Elias Normey-Rico.
- Alejandro Robinson  
**Tema da pesquisa:** O objetivo do trabalho de pesquisa é modernizar a arquitetura de controle e automação da unidade de escoamento multifásico do Laboratório Experimental de Escoamento Multifásico do INCT, incluindo o sistema de medição e atuação, a rede industrial Foundation Fieldbus (FF), o controle lógico em CLP, o Sistema Instrumentado de Segurança, as Interfaces Humano-Máquina e o sistema supervisor. Até o momento a pesquisa tem avançado com o re-estabelecimento da rede industrial e também com a detecção de problemas em equipamentos que precisavam de manutenção. As atividades de iniciação científica estão contribuindo para a criação de um laboratório multiusuário de escoamento multifásico, desenvolver e

treinar modelos dinâmicos de redes neurais recorrentes e aplicar estratégias de controle preditivo econômico não linear no contexto de processos de petróleo e gás.

**Orientador:** Max H. de Queiroz

- Rafael Heidemann de Santana

**Tema da pesquisa:** o objetivo do trabalho de pesquisa é adaptar uma bancada didática de controle de nível de fluido para estudo de escoamentos em escala de laboratório. Foi adicionado um sistema novo de bombeamento, com controle de velocidade angular, e foi adaptada toda a instrumentação, com desenvolvimento de sistema para monitoramento remoto e controle da bancada. Depois de pronta, a bancada deverá servir para treinar pessoas antes de operarem a bancada de escoamento do INCT.

**Orientador:** Rodolfo C. C. Flesch.

## Projeto de Fim de Curso

- Leandro dos Santos

Projeto e instalação de uma microrrede com geração fotovoltaica, baterias e emulação eólica para estudos e pesquisas em controle e automação. As pesquisas têm avançado bem, com o projeto da microrrede concluído e a sua instalação na fase final.

**Orientadores:** Julio Elias Normey-Rico e Daniel M. Lima.

## Supervisão de Estágio

- Eduardo Carpes Dib

Estudo e Análise de Dados e dos Processos de Produção de Vapor da Empresa Biocal Burntech para Projetos de Controle e Automação.

**Orientador:** Marcus V. Americano da Costa Filho.

- Lucas Budde Mior

Simulador Dinâmico na Plataforma Modelica para Processos de Geração de Vapor Considerando o Fenômeno *Shrink-Swell* na Caldeira.

**Orientador:** Marcus V. Americano da Costa Filho.

- Pedro Slaviero

Sistema de controle e monitoramento para um emulador de uma turbina eólica.

**Orientador:** Julio E. Normey-Rico.

## Mestrado

- Gabriel Bressanini

**Tema da pesquisa:** o aumento no número de inversores conectados à rede de distribuição permite que surjam novas formas de utilizar a rede de distribuição de modo a fornecer energia elétrica aos consumidores de forma ininterrupta. Uma das tecnologias que vêm sendo desenvolvidas para garantir esse e outros ganhos, são as microrredes. Este trabalho foca na integração de técnicas de controle para operar uma microrrede, envolvendo controle de tensão e de corrente. Além disso, foi desenvolvido um hardware e firmware de um inversor modular com capacidade de comunicação via protocolo CAN que possibilita a utilização do mesmo por grupos de pesquisa para verificar resultados experimentalmente. Neste trabalho, verificou-se que a aplicação das técnicas de controle apresentadas permite a operação de uma microrrede de modo a entregar energia elétrica de forma ininterrupta para os consumidores quando a rede de distribuição apresenta falha. Além disso, verificou-se a capacidade do inversor desenvolvido em entregar energia em corrente alternada para uma carga e também a capacidade deste de se comunicar com outros inversores.

**Orientadores:** Daniel M. Lima, Julio E. Normey-Rico, Thiago D. C. Busarello.

**Defendida em novembro de 2023**

- João Pedro Brunoni

**Tema da pesquisa:** o objetivo geral desta pesquisa é desenvolver um algoritmo de cômputo rápido de controle preditivo com conjunto finito de ações de controle (FCS-MPC), em conjunto com técnicas de melhoria de desempenho propostas na literatura, para implementação em inversores trifásicos de dois níveis. Estes inversores são massivamente utilizados em microrredes para o controle dos diversos componentes da mesma. O FCS-MPC convencional possui alguns problemas de desempenho relacionados às altas perdas de potência e ao erro em regime permanente. Além disso, a rápida dinâmica dos conversores eletrônicos faz com que o tempo de cômputo do controlador tenha que ser muito baixo e, por conta disso, o tamanho dos horizontes utilizados tende a ser baixo, limitando o desempenho das técnicas. Deste modo, a primeira solução proposta neste trabalho é combinar técnicas da literatura que reduzem as perdas por chaveamento e melhoram o seguimento de referência. Sequencialmente, buscar-se-á implementá-las em um algoritmo proposto que reduza o tempo de cômputo do controlador, abordando técnicas que limitem as opções a serem consideradas, de modo que seja possível implementar horizontes maiores em equipamentos com dinâmicas rápidas.

**Orientadores:** Rodolfo C. C. Flesch, Julio E. Normey-Rico, Vinicius Peccin.

- Mateus Abreu de Andrade

**Tema da pesquisa:** o objetivo geral desta pesquisa é desenvolver uma técnica para identificar degradação de capacitores do barramento CC de inversores de frequência

para operação em ambientes enclausurados. Capacitores são a segunda maior fonte de falhas em conversores de potência, ficando atrás apenas do grande grupo de componentes eletrônicos. Em ambientes enclausurados, como no caso de aplicações que exigem algum grau de proteção contra poeira ou umidade, há uma tendência de operação em temperaturas mais altas, o que tende a degradar os capacitores de forma mais rápida que em outras aplicações. O trabalho propõe o uso de uma rede neural para estimar a capacitância dos capacitores do barramento CC de inversores a partir de grandezas que já são medidas em inversores comerciais, tais como tensões e correntes elétricas. Resultados preliminares indicam que o método proposto é capaz de estimar com tolerância muito boa para aplicação industrial o valor da capacitância do barramento CC, o que permite identificar o instante em que o banco de capacitores deve ser substituído.

**Orientador:** Rodolfo C. C. Flesch.

- Caio César Branco Nunes

**Tema da pesquisa:** a pesquisa busca detectar anomalias em poços produtores de petróleo com emprego de técnicas de aprendizado de máquina. O trabalho se concentra na análise e comparação de diversos classificadores com o objetivo de detectar anomalias em poços marítimos emergentes de petróleo e gás, que têm a capacidade de escoar fluidos produzidos até a plataforma por meio de sua própria pressão. Os classificadores de classe única, incluindo floresta de isolamento, máquina de vetor de suporte de uma classe, fator de outlier local, envelope elíptico e autoencoder com camadas feedforward e de memória curta de longo prazo, serão aplicados devido às suas diferentes abordagens de modelagem preditiva. A avaliação dos classificadores ocorrerá em duas etapas. Inicialmente, os experimentos seguirão um benchmark da literatura, envolvendo a criação de classificadores a nível de instância. Serão conduzidos testes com e sem extração de características, nos quais medidas estatísticas serão extraídas das variáveis. Além disso, as próprias séries temporais serão utilizadas como entrada em alguns casos. A avaliação estatística será realizada por meio dos testes de Friedman e Wilcoxon para comparar as métricas de desempenho dos classificadores. Na segunda parte dos experimentos, será adotada uma abordagem complementar, agrupando amostras de instâncias para avaliar o desempenho das redes neurais em um cenário com uma maior quantidade de dados.

**Orientadores:** Rodolfo C. C. Flesch, Marcelo Menezes Morato.

- Kaike Castro Carvalho

**Tema da pesquisa:** o objetivo deste trabalho é explorar técnicas de aprendizado por reforço integradas ao ambiente PI System para predição de falhas em poços de petróleo naturalmente fluentes. Nesta primeira fase do trabalho, estão sendo usados dados de um dataset público que abrange oito tipos de falhas: (1) aumento abrupto de sedimentos e água; (2) falha na válvula de segurança de fundo de poço; (3) golpeamento severo; (4) oscilações de vazão; (5) perda rápida de produtividade; (6) falha na válvula de estrangulamento de produção; (7) depósitos inorgânicos na válvula de estrangulamento de produção; e (8) formação de hidratos. Caso o método apresente

bons resultados, a ideia é que seja empregada a planta piloto do INCT para gerar novos dados em diferentes condições e avaliar o potencial de integração da solução no PI System, para criar alertas automáticos de falhas.

**Orientadores:** Rodolfo C. C. Flesch, Marcelo Menezes Morato.

- Michael Felipe da Silva Barbosa

**Tema da pesquisa:** desenvolvimento de métodos numéricos para técnicas de controle ótimo, em particular os métodos de colocação numérica de Hermit-Simpson, para a produção de hidrogênio verde baseada na tecnologia de eletrolisadores com membrana por troca de próton alimentados por painéis solares fotovoltaicos. Duas metodologias foram propostas baseadas nos modos de operação do sistema: (i) fase única; e (ii) multifásica, na qual os intervalos de comutação da planta são pré definidos e as variáveis de estado e controle são restritas de acordo com as condições de operação. Ambas as estratégias são convertidas em um problema de programação não linear, que por sua vez é resolvido usando o solver IPOPT em Matlab. Os resultados demonstraram os rendimentos da produção de hidrogênio, a redução no consumo de energia, e a otimização do uso da energia solar. As contribuições fornecem informações para pesquisadores, engenheiros e empresas interessadas em operações eficientes de tecnologias de geração de hidrogênio verde.

**Orientador:** Gustavo A. de Andrade.

## Doutorado

- João Bernardo Ribeiro

**Tema da pesquisa:** Controle preditivo econômico de sistemas de produção de petróleo em plataformas off-shore. A abordagem mais comum para otimização da produção de petróleo consiste na utilização de uma camada de otimização em tempo real (OTR), a qual é usada para a definição dos valores de referência a serem usados pelos controladores do processo. A solução desse problema é, geralmente, complexa. Além disso, devido ao fato de os processos estarem sujeitos a perturbações, muitas vezes, as referências calculadas pela OTR deixam de ser ótimas. Abordagens alternativas estão sendo pesquisadas, como a utilização de objetivos econômicos diretamente nas malhas NMPC, em técnicas NMPC econômicas (ENMPC). Utilizando técnicas ENMPC, é possível integrar as camadas de otimização e controle, possibilitando a operação de ambas com o mesmo modelo e utilizando o mesmo período de amostragem. Até o momento uma técnica ENMPC com uso de modificadores foi desenvolvida e testada em ambiente simulado em cenários realistas, com resultados que mostram: (i) desempenho similar ou melhor que outras técnicas, e (ii) custo computacional menor.

**Orientadores:** Julio Elias Normey-Rico e Jose Vergara Dietrich.

- Alexandre Horn

**Tema da pesquisa:** O projeto de pesquisa tem como objetivo projetar novas estratégias



de controle preditivo econômico e distribuído combinado a técnicas de aprendizado de máquina por reforço visando o funcionamento otimizado de processos de energia em microrredes que utilizem diversos vetores energéticos, considerem o controle das cargas e o uso de H<sub>2</sub> verde. O trabalho está na sua fase inicial com revisão bibliográfica.

**Orientador:** Julio Elias Normey-Rico e Paulo Drews.

- Franthiescolly Vieira de Carvalho

**Tema de pesquisa:** modelagem matemática fenomenológica de eletrolisadores com membranas de troca de prótons e desenvolvimento de observadores de estados para fins de controle. O modelo matemático da planta é descrito por um conjunto de equações diferenciais parciais não lineares e leva em consideração a conservação de massa dentro do catodo e anodo, a cinética da reação, as propriedades termodinâmicas e a tensão auxiliar. Com relação aos observadores de estados, será considerada a estrutura de Luenberger, na qual o erro de estimação entre a saída estimada e a real será acrescentada nas equações matemáticas do modelo. Cenários considerando variáveis medidas distintas serão estudados para verificar a convergência do observador proposto.

**Orientadores:** Daniel Ferreira Coutinho e Gustavo Artur de Andrade.

- Maria Alice De Freitas Marques

**Tema de Pesquisa:** Abordagem Híbrida de Controle Preditivo Não Linear Aplicado a Microrredes de Produção e Armazenamento de Hidrogênio Verde.

**Orientador:** Marcus V. Americano da Costa Filho.

- Angelo Gabriel dos Santos

**Tema de Pesquisa:** Estratégia Híbrida de MPPT-MPC para Sistemas FV Sujeitos a Sombreamento Parcial e Integrados a Eletrolisadores.

**Orientadores:** Marcus V. Americano da Costa Filho e Rodolfo C. C. Flesch.

- Isaías Valente de Bessa

**Tema da pesquisa:** desenvolvimento de observadores não lineares para a estimação de estado de carga e saúde em baterias de Li-Ion.

**Orientador:** Daniel Ferreira Coutinho.

## Pos-Doutorado

- Marcelo Menezes Morato

**Tema da pesquisa:** Trabalhos recentes estudam o problema de falhas na operação de microrredes, já que a geração renovável costuma não ser constante. Portanto, não contabilizar falhas pode levar a comprometer o desempenho ou a não atender às demandas. Poucos trabalhos abordaram o tema da mitigação de falhas e gestão de

energia tolerante a falhas em microrredes, mas ainda faltam resultados formais para estes estudos. Modelos lineares a parâmetros variáveis (LPV) podem ser usados para representar a dinâmica da microrrede sob falhas. Os recentes avanços teóricos sobre o projeto de MPC-LPV fornecem um conjunto adequado de ferramentas para estudar e formalizar tais propriedades. A presente pesquisa vai propor uma metodologia unificada para representar microrredes sujeitas a falhas com uma representação LPV e propor algoritmos MPC-LPV tolerantes a falhas, com garantia de estabilidade e viabilidade recursiva. O método MPC-LPV também será integrado a esquemas de diagnóstico/estimativa de falhas.

**Supervisor:** Julio Elias Normey-Rico .

- Adriano Brandão

**Tema da pesquisa:** Controle Preditivo em sistemas de geração e distribuição de energia renovável, em três frentes: Modelagem ótica com Inteligência artificial para cálculo de desfoque em coletores termossolares Fresnel; Controle Preditivo Não-linear de coletores Fresnel com nível de foco do coletor como variável manipulada e; Controle Preditivo por bandas associado ao Extremum Seeking aplicado em microrredes.

**Supervisor:** Julio Elias Normey-Rico.

- Poliana Pastorele da Silva Quirino

**Tema de pesquisa:** otimização dinâmica e estudos de viabilidades técnica e econômica do processos de dessalinização solar. Este trabalho compreende a simulação e aplicação de otimização na planta AQUASOL, localizada na Plataforma Solar de Almería, na Espanha; e o mapeamento e estudo de viabilidade do processo de dessalinização para o semiárido baiano.

**Supervisor:** Marcus V. Americano da Costa Filho.

## Participação em eventos

- Participação como palestrante

O professor Julio Elias Normey-Rico ministrou uma Keynote no 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Química (Salvador, outubro 2023), com tema “Green Hydrogen: Microgrid energy management system and modeling and simulation of PEM electrolysis plants”

- Participação em painel

O professor Rodolfo César Costa Flesch participou de um painel, junto com Mariana Rodrigues França (superintendente adjunta da ANP), Eduardo Costa (CEO da Oronova) e Fábio Pires (gerente da Shell), no XIII PetroTIC Conference + Energy Tech Summit (Rio de Janeiro, setembro 2023), com tema “Perspectivas Futuras: quais aprendizados dos últimos 25 anos da cláusula de PD&I?”

- **Participação em mesa redonda**  
O professor Rodolfo César Costa Flesch participou de mesa redonda com Alfredo Renault (superintendente de P&D da ANP) e com Juliano Dantas (ex-diretor Executivo de Transformação Digital e Inovação da Petrobras e atual Vice-Presidente de Inovação, P&D, Digital e TI da Eletrobras), na Reunião Anual de Avaliação dos Programas de Formação de Recursos Humanos da ANP (Rio de Janeiro, março 2023), com tema “Transformação Digital no Setor de Energia”
- **Participação como palestrante**  
O professor Gustavo Artur de Andrade ministrou uma palestra no I Workshop INCT CAPE 2023 realizado em setembro de 2023 em Florianópolis, com tema “Controle de eletrolisadores para geração de hidrogênio verde”
- **Participação em mesa redonda**  
O professor Julio Elias Normey-Rico participou de mesa redonda no I Workshop INCT CAPE 2023 realizado em setembro de 2023 em Florianópolis, com tema “Integração do H2 verde no sistema energético: situação atual e perspectivas” junto aos palestrantes Dr. Carlos Bordons Alba, Dr. Fernando Isorna e Dr. Miguel Angel Ridao da Espanha.
- **Participação em painel**  
O professor Rodolfo César Costa Flesch participou de um painel no 1º Fórum de Tecnologia e Inovação da ANP no dia 21 de novembro de 2023, no Rio de Janeiro. O tema do painel foi “Programa de Recursos Humanos da ANP (PRH-ANP) - resultados, perspectivas e aprimoramento”, com mediação de Eduardo Torres, Assessor de Projetos e Programas PD&I da ANP.

## Visitas técnicas e missões de pesquisa realizadas

- **Visita técnica organizada pelo INCT CAPE ao Laboratório Fotovoltaica da UFSC como parte das atividades do I Workshop INCT CAPE 2023, em setembro de 2023.** O referido laboratório realiza pesquisas em diversos tópicos de energias renováveis e recentemente inaugurou uma planta de produção de H2 verde e de amônia verde.
- **Missão do professor Julio Elias Normey-Rico na Espanha, nas universidades de Sevilla, Almería e Valladolid, em julho de 2023, realizando as seguintes atividades:**
  - **Universidade de Sevilla (US):**  
Reuniões com os professores e pesquisadores da universidade: Carlos Bordons Alba, Miguel Angel Ridao, Daniel Limón, Eduardo Camacho, Amparo Núñez e Manuel Ortega. Durante as reuniões se propuseram temas de pesquisa para os

próximos meses e se finalizou o planejamento do workshop que foi realizado na UFSC em setembro com a participação de vários professores da US.

Visitas: se realizaram duas visitas aos laboratórios de microrredes e de geração de H<sub>2</sub> verde. Nas visitas se estudou a infraestrutura dos laboratórios e tipo de equipamento usado para as pesquisas, dado que estamos em fase de construção de um laboratório similar na UFSC.

- Universidade de Almeria:

Participação em banca de doutorado como membro externo internacional. A tese tratava de sistemas de controle para plantas que utilizam energia solar.

Reuniões com os professores Manuel Berenguel, José Luis Guzmán, José Domingo Alvarez e Lidia Roca. Durante as reuniões se propuseram temas de pesquisa para os próximos anos e se planejou a estadia de um doutorando espanhol na nossa universidade.

Visitas: se realizou uma visita aos laboratórios geração fotovoltaica, de produção de biomassa (microalgas) e as estufas de cultivo, focando nos aspectos de instrumentação e controle e de gestão de energia da microrrede.

- Universidade de Valladolid:

Participação em banca de doutorado como membro externo internacional. A tese tratava de sistemas de controle preditivo com uso de modificadores para plantas industriais.

Reuniões com os professores Cesar de Prada, Gloria Gutierrez, Fernando Tadeo e Jesús Maria Zamarreño. Durante as reuniões se propuseram temas de pesquisa para os próximos anos e se planejou o trabalho de um doutorando espanhol que estamos co-orientando, assim como se discutiram as possibilidades de realização de estágios de estudantes.

Visitas: se realizou uma visita aos laboratórios de engenharia química da universidade, que trabalha em controle de processos e produção de H<sub>2</sub>.

Palestra sobre controle MPC e aplicações na indústria do petróleo e em microrredes com uso de H<sub>2</sub>.

- Visita técnica do prof Márcio Martins na Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus-BA, durante os dias 28 e 29 de agosto de 2023, participando de atividades do Projeto de Extensão Ciclo de Palestras em Sistemas Inteligentes e Automática. Na oportunidade, o prof teve reuniões com discentes e docentes do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia, tratando sobre temas gerais sobre engenharia de sistemas em processos. Além disso, ministrou o minicurso Engenharia de Sistemas em Processos como abordagem tecnológica para transformação digital do setor energético industrial, e participou da banca como membro externo do candidato a mestre Vinicius de Souza Andrade Wanderley, com o trabalho Regulador Linear Quadrático Restrito com Ação Integral e Rejeição de Distúrbios, no âmbito do PPG em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia.
- Visita técnica do professor Julio Elias Normey-Rico na Argentina na universidade Nacional de La Plata (UNLP), em maio de 2023, com as seguintes atividades:

Reunião com discentes e docentes LEICI para discussão de pesquisas em colaboração no tema de modelagem, controle e otimização de microrredes com uso de H2 verde.

- Visita técnica do professor Julio Elias Normey-Rico na Universidade Federal da Bahia (UFBA), em outubro de 2023, com as seguintes atividades:
  - Reunião com estudantes de pós-graduação do PEI UFBA para prospectar temas de pesquisa na área de Process Systems Engineering (PSE) aplicadas em processos para transição energética;
  - Palestra na UFBA sobre soluções de controle preditivo para gerenciamento de fontes de energia em microrredes, com participação dos discentes e docentes do PEI, PPGM e PPGEI interessados no tema;
  - Reunião com discentes do PEI, PPGM e PPGEI interessados nas pesquisas em andamento sobre INCT-CAPE;
  - Workshop com docentes/discentes do PEI, PPGM e PPGEI sobre compartilhamento de experiências para montagem de unidade piloto experimental para produção, armazenamento e uso de hidrogênio;
  
- Missão do professor Gustavo Artur de Andrade na Argentina, na Universidad Nacional de La Plata, em novembro de 2023, realizando as seguintes atividades:
  - Reunião com discentes e docentes LEICI para discussão de pesquisas em colaboração no tema de modelagem, controle e otimização de plantas de geração de hidrogênio verde.
  - Apresentação do seminário *New developments for the optimal operation of renewable energy systems*, na Universidad Nacional de La Plata, em 14 de novembro, para divulgar as pesquisas realizadas no INCT CAPE. A apresentação se concentrou na utilização de modelos fenomenológicos para projetar leis de controle ótimas para sistemas de energia renovável com uma perspectiva rigorosa para mostrar o que pode efetivamente ser garantido com a metodologia a longo prazo. Mostraram-se resultados aplicados em três diferentes processos de energia renovável: (i) uma planta solar térmica; (ii) uma planta de produção de hidrogênio verde baseada em energia fotovoltaica; e (iii) um fotobiorreator tubular. Também foram discutidas extensões das estratégias em casos mais desafiadores, como várias plantas de escala industrial operando em paralelo. Estes resultados apresentam o potencial do controlador ótimo para aumentar a rentabilidade destas plantas, garantindo ao mesmo tempo que as restrições operacionais sejam satisfeitas.
  - Curso Introdução ao controle ótimo com carga horária de 40 horas.
  
- Missão do professor Julio Elias Normey-Rico na Espanha, no INTA - Instituto Nacional de Tecnologia Aeroespacial, em novembro de 2023, realizando as seguintes atividades:
  1. Visita às instalações de pesquisa e desenvolvimento na área de energia renovável, focando nos laboratórios de produção de H2 a partir de energia

- fotovoltaica, de sistemas de armazenamento de H<sub>2</sub>, e de utilização de H<sub>2</sub> para veículos terrestres e aéreos;
2. reuniões com o Dr. Fernando Isorna, responsável pelas pesquisas do INTA na área de energia.
- Missão do professor Daniel Ferreira Coutinho na Bélgica, nas universidades ULB e UMONS, entre o final de novembro e o início de dezembro de 2023, realizando as seguintes atividades:
    - Reunião com o prof Michel Kinnaert (ULB) sobre a utilização de sensores ópticos para monitoramento de grandezas físicas em baterias de Li-Ion.
    - Reunião com o prof Alain Vande Wouwer e aluna Zahra Zamanian (UMONS) sobre a estimação de parâmetros físicos de baterias de Li-Ion utilizando dados obtidos no laboratório da UFSC.

## Atividades de divulgação

- Participação do Prof. Marcus Americano da Costa na reunião anual da SBPC, representando o INCT CAPE. Durante o evento, o INCT foi apresentado mediante pôster no estande do CNPq por 2 dias e por exposição oral em sessão específica. Além disso, oportunamente, o Prof. Marcus Americano discutiu algumas ideias com diretores do CNPq, cuja reunião foi destacada no próprio portal do Conselho:  
<https://www.gov.br/cnpq/pt-br/assuntos/noticias/cnpq-em-acao/incts-mostram-a-importancia-da-pesquisa-em-rede-e-de-longa-duracao>
- Participação do INCT CAPE, representado por vários professores e bolsistas no CTA portas abertas e na Feira de Cursos, organizadas pela UFSC para divulgação ao público geral de trabalhos de pesquisa e formação em diversas áreas. O INCT CAPE participou com exposição de equipamentos, maquetes e demonstrações.
- Entre 5 e 7 de junho de 2023, o INCT CAPE participou do XI Encontro de Sustentabilidade em Projeto (ENSUS), na Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis. O estande do Instituto foi organizado pelos professores Julio Elias Normey-Rico e Marcus Vinícius Americano da Costa, e composto pelos alunos de iniciação científica Amir Naspolini, Luiz Gustavo Dal Magro e Pedro Vargas.

## Workshops e eventos organizados

### I Workshop INCT CAPE 2023

Em Florianópolis, de 21 a 22 de Setembro de 2023, foi organizado o I Workshop INCT CAPE 2023, intitulado Hidrogênio Verde: Geração e Utilização em Microrredes ([https://inctenergia.ufsc.br/Workshops/WorkshopINCT2023/workshop\\_inctcape23.html](https://inctenergia.ufsc.br/Workshops/WorkshopINCT2023/workshop_inctcape23.html)). O evento foi organizado pelo INCT CAPE em parceria com o Programa de Pós-Graduação em Automação e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina, e teve o apoio da FEESC, CAPES, CNPq e do *Ministerio de Ciencia y Innovación* da Espanha.

Neste primeiro workshop, foram discutidos temas relacionados à integração de sistemas que permitem o armazenamento de H2 verde em microrredes com fontes de energias renováveis, e as aplicações do H2 verde. O Workshop teve como atividades palestras com convidados do Brasil e da Espanha, uma visita técnica e uma mesa redonda. O evento foi aberto para a comunidade e o setor industrial brasileiro e teve participação presencial e remota, com mais de 150 participantes de várias empresas, universidades e público em geral. As gravações das palestras e mesa redonda foram disponibilizadas no seguinte link no Youtube: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLWxpZphmrc1jVcZyIPMaGva4PeS-T0vNz>

### COBEQ e ENBEQ 2023

A Associação Brasileira de Engenharia Química (ABEQ) e a Universidade Federal da Bahia organizaram em Salvador, Bahia o 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Química (24º COBEQ) (01 a 04 de outubro de 2023) e 19º Encontro Brasileiro sobre Ensino da Engenharia Química (19º ENBEQ), (04 e 05 de outubro de 2023) <https://www.cobeq2023.com.br/>. O COBEQ é o evento de maior relevância nacional na área de Engenharia Química, reunindo pesquisadores da Academia e da Indústria. Nesta 24ª edição, o COBEQ trouxe como tema central “O papel da engenharia química na transição energética, desfossilização e circularidade da economia”, um tema atual e de relevância mundial na busca de um futuro sustentável para nosso planeta e alinhado com os objetivos do INCT, que teve o Prof. Marcio Martins como membro da comissão organizadora.

## Participação em eventos científicos

- 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Química.  
**Participação:** Marcio Martins e Julio E. Normey-Rico.

- XVI Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente e X Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos.  
**Participação:** João Bernardo Ribeiro, Julio E. Normey-Rico, Marcelo M. Morato, Tito L. Maia Santos, Bismark C. Torrico, Matheus Wagner.
- 15th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON).  
**Participação:** Gabriel Bressanini.
- XX Workshop on Information Processing and Control.  
**Participação:** Gustavo A. de Andrade.
- 7th International Symposium on Instrumentation Systems, Circuits and Transducers (INSCIT).  
**Participação:** Rafael Heidemann de Santana.
- 8th IEEE Southern Power Electronics Conference (SPEC).  
**Participação:** João Pedro Brunoni, Mateus Abreu de Andrade.
- 62nd IEEE Conference on Decision and Control (CDC).  
**Participação:** Daniel Ferreira Coutinho.

## Participação em redes e projetos de pesquisa nacionais e internacionais

### INCITERE

O Instituto de Ciência, Inovação e Tecnologia em Energias Renováveis do Estado da Bahia (INCITERE), visa desenvolver atividades de pesquisa científica, tecnológica e de inovação em energias renováveis com foco no Estado da Bahia, visando a formação qualificada de recursos humanos, geração de energia com a formação de redes de cooperação científica e tecnológica de forma interinstitucional e interdisciplinar com a academia, empresas e sociedade. Salienta que na equipe composta de 82 pesquisadores oriundos de 6 ICTs do Estado da Bahia, e uma de Portugal, onde 8 são PQs do CNPq, e nos últimos cinco anos publicaram 194 artigos, em congressos, revistas e journals indexados, mostrando a capacidade da equipe envolvida, nove laboratórios de pesquisa, 14 subprojetos, sendo destes um do NIT e outro da coordenação e os demais nas energias renováveis. A participação no INCITERE está previsto os seguintes programas de Pós graduação sediados na UFBA com vinculações em Energia Renováveis: PGENAm - Programa de Pós graduação em Energia e Ambiente; PEI - Programa de Pós Graduação em Engenharia Industrial; PGQUIM - Programa pós graduação em Química; PPGEE - Programa Pós graduação Engenharia Elétrica; PPEC - Programa Pós graduação em Engenharia Civil; PPGM - Programa Pós graduação em Mecatrônica. **O INCT CAPE se faz**



**presente no INCITERE através do professores pesquisadores Márcio Martins, Marcus Americano e Tito Maia, atuantes no subprojeto 12 - Integração Grid**, cujo objetivo é investigar técnicas e procedimentos para aprimorar a integração de fontes de energia renováveis, como fotovoltaicas, eólicas, ou baseadas em células de hidrogênio à rede de distribuição de energia elétrica do Estado da Bahia.

## RED CYTED H2TRANSEL

A UFSC, através da equipe do INCT participa como membro da rede de pesquisa da RED CYTED H2TRANSEL (H2TRANSEL - *Hidrogeno: produccion y usos en el transporte y el sector eléctrico*), financiada pelo CYTED e com participação de diversas universidades da América Latina e Espanha.

Esta rede tem por objetivos proporcionar um espaço para a comunidade ibero-americana analisar e discutir os avanços relacionados com as atuais e futuras tecnologias de produção de hidrogênio que utilizam matérias-primas renováveis e não poluentes, analisar os avanços ligados ao armazenamento, transporte e segurança, bem como aplicações como o vetor energético em transporte automóvel e no mercado elétrico e sua complementação com células de combustível. Além disso, a rede articula o potencial dos grupos de I&D para ligá-los a empresas e organizações estatais para encontrar soluções para problemas técnicos.

As novas tecnologias relacionadas com o hidrogênio como vetor energético, sem descuidar a sua aplicação na indústria química, terão importância estratégica a médio prazo e apresentarão desafios tecnológicos. O hidrogênio deve ser produzido através do consumo de energia, razão pela qual o processo de produção deve ser energeticamente eficiente. Pelas suas características, o hidrogênio apresenta dificuldades para seu armazenamento e transporte.

A comunidade científica ibero-americana deve estar atenta a estes novos desenvolvimentos e, se possível, ter uma participação ativa nos mesmos, para que o novo cenário energético que se aproxima nos permita inserir a nossa própria tecnologia no mercado mundial ou, pelo menos, ter capacidade técnica para adquirir o mais adequado a cada situação.

## Projeto INTEREST

A UFSC, através da equipe do INCT CAPE e do laboratório Fotovoltaica da UFSC, participa como parceira não europeia do projeto de pesquisa internacional INTEREST (Integrated Digital Solution for Sustainable and Reliable Management of International Renewable Energy Systems), coordenado pelo instituto Fraunhofer da Alemanha, e com participação de vários grupos da Europa e da Austrália.

O projeto INTEREST tem o objetivo de desenvolver um controle preditivo distribuído hierárquico para monitoramento em tempo real e gerenciamento de energia de sistemas de energia renovável com recursos aprimorados, como sustentabilidade, estabilidade, confiabilidade e replicabilidade. Este objetivo será abordado através de ferramentas inovadoras que trarão informações ao sistema, permitindo uma atuação mais preventiva do que reativa,

fundamental para superar os desafios do setor. Tais inovações são essenciais para aumentar a eficiência do sistema, melhorando o controle dos fluxos de energia. Além disso, o projeto busca inserir os conceitos de manutenção preditiva para casos práticos utilizando inteligência de dados para uma melhor compreensão da demanda em uma operação de autocorreção. O projeto foi submetido para solicitação de recursos em outubro 2023.

## Artigos publicados em Revistas

Ribeiro, J. B. A., Dietrich, J. D. V., Normey-Rico, J. E. A simplified economic model predictive control for a gas lifted oil production network based on modifier adaptation. *Computers & Chemical Engineering*, 176, 108290, 2023.

Martins, M. A.F.; Rodrigues, A. E.; Loureiro, J. M.; Ribeiro, A. M.; Nogueira, I. B.R.. Handling model uncertainty in control of a pressure swing adsorption unit for syngas purification: A multi-model zone control scheme-based robust model predictive control strategy. *Separation and Purification Technology*, 306, 122668, 2023.

Santana, B. A.; Matos, V. S.; Santana, D. D.; Martins, M. A. F. . Embedded MPC Strategies for ESP-Lifted Oil Wells: Hardware-in-the-Loop Performance Analysis of Nonlinear and Robust Techniques. *PROCESSES*, 11, 1354, 2023.

Machado, D. O., Chicaiza, W. D., Escaño, J. M., Gallego, A. J., de Andrade, G. A., Normey-Rico, J. E., Bordons, C., Camacho, E. F. Digital twin of a Fresnel solar collector for solar cooling. *Applied Energy*, 339, 120944, 2023.

Machado, D.O., Chicaiza, W. D., Escaño, J. M., Gallego, A. J., de Andrade, G. A., Normey-Rico, J. E., Bordons, C., Camacho, E. F. Digital twin of an absorption chiller for solar cooling. *Renewable Energy*, 208, 36-51, 2023.

Santos, T. L. M., Normey-Rico, J. E. A Generalised Dynamic Matrix Control for unstable processes based on filtered predictions. *ISA Transactions* 136, 297-307, 2023.

Ipoum-Ngome, P. G., Mon-Nzongo, D. L., Flesch, R. C. C., Tang, J. Q., Jin, T. Multiobjective Model-Free Predictive Control for Motor Drives and Grid-Connected Applications: Operating With Unbalanced Multilevel Cascaded H-Bridge Inverters. *IEEE Transactions on Power Electronics* 38, 3014-3028, 2023.

Biazetto, P. H. F., de Andrade, G. A., Normey-Rico, J. E. Development of an optimal control strategy for temperature regulation and thermal storage operation of a solar power plant based on Fresnel collectors. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 31, 1149-1164, 2023.

Pataro, I. M. L., Gil, J. D., Americano da Costa, M. V., Roca, L., Guzmán, J. L., e Berenguel, M. Improving temperature tracking control for solar collector fields based on reference feedforward, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 31, 2596-2607, 2023.

Paixão, D., Quirino, P., Fialho, R., Americano da Costa, M. V., e Pontes, K. V. A dynamic optimization approach for a multi-effect desalination (MED) integrated with thermosolar storage system. *Solar Energy*, 262, 111837, 2023.

Pataro, I. M. L., Gil, J. D., Americano da Costa, M. V., Roca, L., Guzmán, J. L., e Berenguel, M. A stochastic nonlinear predictive controller for solar collector fields under solar irradiance forecast uncertainties. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 1–13, 2023.

Naspolini, A., Morato, M. M., NORMEY-RICO, J. E. LPV Predictive Control for Renewable Hydrogen Generation. *Revista Electrónica de divulgación de STEM de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco*, 4, 3-22, 2022.

Couto, L. D., Schons, S., Coutinho, D. F., Kinnaert, M. A Descriptor System Approach for the Nonlinear State Estimation of Li-Ion Battery Series/Parallel Arrangements. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 31, 825-840, 2023.

## Artigos publicados em congressos

Morato, M. M., Marquez, J. J., Zafra-Cabeza, A., Bordons, C. ; Normey-Rico, J. E. Fault-Tolerant Energy Management in Renewable Microgrids using LPV MPC. Em 5th IFAC Workshop on Linear Parameter Varying Systems (LPVS), Montreal, Canadá, 2023.

Morato, M. M., Felix, M. S., e Normey-Rico, J. E. Controle Preditivo Não Linear baseado em Dados: Um debate sobre avanços recentes. Em XVI Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente e X Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Manaus, Brasil, 2023.

Pereira, P., e Santos, T. DMC filtrado aplicado ao controle de sistemas sujeitos a referências variantes no tempo. Em XVI Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente e X Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Manaus, Brasil, 2023.

Morato, M. M., Naspolini, A., e Normey-Rico, J. E. Tutorial: Implementando Controladores Preditivos Não Lineares através do Ferramental LPV. Em XVI Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente e X Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Manaus, Brasil, 2023.

Ribeiro, J. B. A., Dietrich, J. D. V., e Normey-Rico, J. E. Controle Preditivo Econômico baseado em dados entrada/saída aplicado em um poço de petróleo. Em XVI Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente e X Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Manaus, Brasil, 2023.

Barbosa, G., Azevedo Júnior, A. P., e Julio Elias Normey-Rico, J. E. Ferramentas Interativas de Código Aberto para Estudo de Controladores Clássicos. Em XVI Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente e X Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Manaus, Brasil, 2023.

de Andrade, M. A., Flesch, R. C. C. e Nakirimoto, E. K. Método de Estimação On-line da Vida Útil de Capacitores Eletrolíticos do Barramento CC em Inversores de Frequência Trifásicos. Em XVI Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente e X Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Manaus, Brasil, 2023.

Bressanini, G. L., Lima, D. M., e Normey-Rico, J. E., Busarello, T. D. C. Projeto e implementação de um inversor full-bridge para validação de estratégias de controle. Em 15th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON), São Bernardo do Campo, Brasil, 2023.

Barbosa, M. F. da S., Garcia-Clúa, J. G., de Andrade, G. A., Normey-Rico, J. E.. Control óptimo multifase de sistema fotovoltaico-hidrógeno assistido por red. XX Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control (RPIC), Oberá, Argentina, 2023.

Machado, J. P. Z., Flesch, R. C. C., Schaefer, M. M. e Santana, R. H. Bearing heating open-loop control system to reduce variability in BLDC motor tests. Em 7th IEEE International Symposium on Instrumentation Systems, Circuits and Transducers (INSCIT), Rio de Janeiro, Brasil, 2023

de Andrade, M. A. e Flesch, R. C. C. Capacitance Estimation Algorithm for Condition Monitoring of Electrolytic dc-link Capacitors using Artificial Neural Network in Front-End Diode Rectifier Three-Phase Motor Drive Systems. Em 8th IEEE Southern Power Electronics Conference and 17th Brazilian Power Electronics Conference, Florianópolis, Brasil, 2023.

Dal'Agnol, C., Danguì, H. A. S., da Silva, W. R., Musa, S. A. e Flesch, R. C. C. Experimental Method for Identification of DC Converter Models and Design of Digital Controllers. Em 8th IEEE Southern Power Electronics Conference and 17th Brazilian Power Electronics Conference, Florianópolis, Brasil, 2023.

Brunoni, J. P., Flesch, R. C. C., Normey-Rico, J. E., e Peccin, V. B. Performance Comparison of Finite Control Set Model Predictive Control Approaches Applied to Three-Phase Two-Level Inverters. Em 8th IEEE Southern Power Electronics Conference and 17th Brazilian Power Electronics Conference, Florianópolis, Brasil, 2023.

Brandão Adriano S.M.; Chicaiza, William D.; sánchez, Adolfo J.; Normey-Rico, Julio Elias; Escaño, Juan M.. Neurofuzzy Defocusing strategy for a Fresnel collector. Ifac-Papersonline, [S.L.], v. 56, n. 2, p. 1478-1483, 2023.

## Projetos de plantas piloto

Durante o ano de 2023 diversos esforços da equipe do INCT CAPE foram direcionados para o projeto, especificação, manutenção e montagem de plantas piloto, que serão utilizadas no futuro para as pesquisas do instituto.

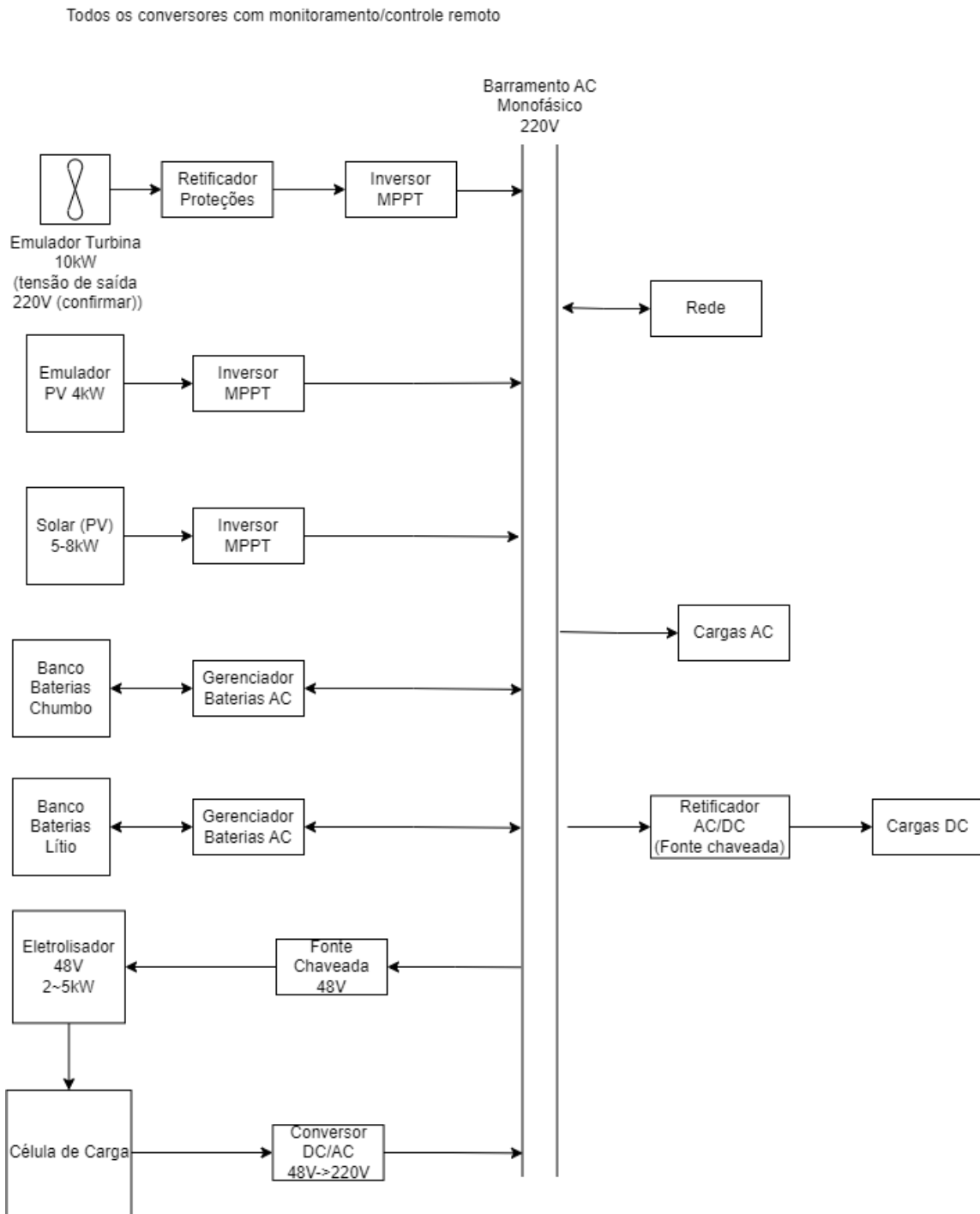
## Microrrede com geração renovável e armazenamento híbrido

Inicialmente, a intenção era montar a microrrede com a estrutura mostrada na Figura 1, que possui as seguintes características:

1. Barramento CA monofásico 220 V.
2. Conexão com rede elétrica de distribuição CA monofásica.
3. Cargas CA conectadas ao barramento CA.
4. Retificador CA/CC servindo como fonte para cargas CC, conectado ao barramento CA.
5. Eletrolisador (2 kW a 5 kW) conectado ao barramento CA.
6. Célula de carga (2 kW a 5 kW) conectada ao barramento CA através de um conversor CC/CA.
7. Dois bancos de bateria conectados ao barramento CA através de conversores individuais.
8. Emulador de painéis solares (2 kW a 4 kW) conectados ao barramento CA através de um inversor.
9. Painéis solares (5 kW) conectados ao barramento CA através de um inversor.
10. Emulador eólico (12 kW) conectado ao barramento CA através de um conversor (retificador+inversor).

Nesta configuração, os conversores precisam ser altamente configuráveis para permitir um controle maior de seu comportamento, de forma a permitir o estudo das mais variadas técnicas de controle. Também precisam permitir monitoração e configuração remotas, e funcionamento em modo ilhado e conectado à rede.

A partir destas definições, buscamos equipamentos comerciais que poderiam atender as especificações de funcionamento. Porém, os equipamentos comerciais se mostraram muito limitados em termos de flexibilidade de funcionamento, configuração e monitoramento. Como o objetivo desta microrrede é permitir a execução de diversos cenários de funcionamento para validação dos algoritmos de controle/gerenciamento pesquisados, são necessários certos ajustes e configurações que não são comuns numa operação comercial tradicional.



**Figura 1** - Esquema microrrede com barramento AC.

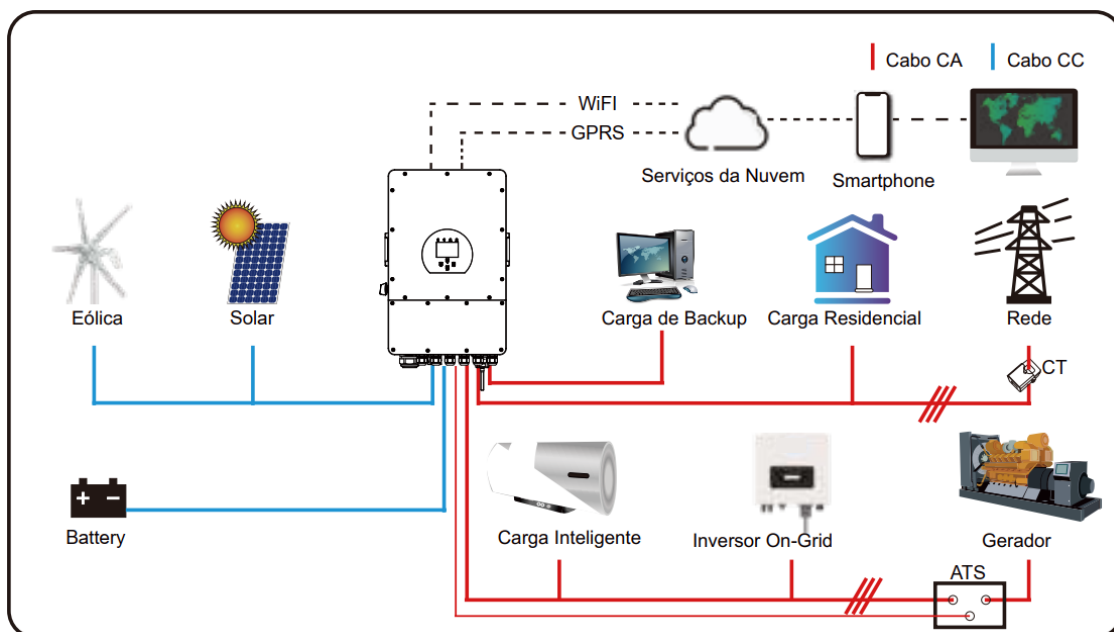
Desta forma, não foi possível implementar a microrrede como imaginávamos inicialmente até o momento. Para não atrasar o desenvolvimento de forma significativa, optamos por, ao menos num primeiro estágio, fazer uma implementação simplificada com equipamentos comerciais e, em paralelo, seguimos avaliando alternativas para a implementação da microrrede como inicialmente pretendido.

A instalação de parte deste sistema que usa equipamentos comerciais está sendo finalizada, com previsão de término no final de dezembro. O sistema adquirido contempla:

1. 10x módulos de painéis fotovoltaicos do tipo monocristalino de 550 W cada, totalizando 5,5 kW de potência nominal.
2. 1x inversor de corrente híbrido trifásico 380 V 12 kW (Marca Deye , modelo SUN-12-K-SG04LP3-EU).

Este projeto acaba centralizando todas as funcionalidades de conversão de energia no em um único inversor. Na Figura 2, é mostrado um esquema retirado do manual do produto em que mostra as possibilidades de conexão de diversos equipamentos distintos, por exemplo, geradores fotovoltaicos e eólicos, baterias, cargas CA, outros inversores e até mesmo geradores a combustível. Este inversor permite o funcionamento em modo ilhado e em modo conectado à rede de distribuição elétrica, monitoramento das variáveis mais importantes através de conexões de rede, e configuração e acionamento através de protocolo de comunicação.

Assim, apesar de centralizado e com possíveis limitações nos cenários a serem testados, este projeto já permitirá testes com painéis solares, baterias e também com o sistema de hidrogênio verde que se descreve com maiores detalhes no próximo item.



**Figura 2** - Esquema de ligação genérico do inversor SUN-12-K-SG04LP3-EU.

Em paralelo, estamos em contato com empresas especializadas em eletrônica de potência para verificar o fornecimento de um sistema customizado de acordo com nossas necessidades, com múltiplos inversores descentralizados e controlados individualmente via rede lógica, que permitirá a execução dos testes de acordo com o inicialmente estabelecido.

## Planta de produção de H2 verde

Como mostrado no item anterior, o projeto da microrrede prevê um sistema de armazenamento de H2 verde, composto por um eletrolisador, uma célula de combustível e um tanque de armazenamento de H2. Na sequência, estes equipamentos são descritos/especificados.

**Seleção de tecnologia de eletrólise:** Determinou-se que a tecnologia PEM será empregada no projeto. As características dessa tecnologia são:

- Requer apenas água deionizada e eletricidade para gerar hidrogênio.
- A separação por membrana polimérica não utiliza compostos tóxicos e corrosivos.
- A membrana é não-porosa e opera com grande diferença de pressão entre o cátodo (região rica em hidrogênio) e o ânodo (região rica em oxigênio e água), bloqueando a difusão entre os gases, garantindo hidrogênio com 99,9995% de pureza.
- Baixo risco de explosão durante sua operação.
- Pouca manutenção anual.

**Especificação do eletrolisador:** O desenvolvimento do projeto conceitual de engenharia foi realizado considerando o modelo de eletrolisador PEM da NEL MODEL S40, cujos parâmetros são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Especificações técnicas do eletrolisador.

Característica	Valores
Taxa líquida de produção de hidrogênio	1,05 Nm <sup>3</sup> /h
Pressão de saída (nominal)	13,8 barg (200 psig)
Energia consumida por volume de hidrogênio produzido	17,6 kWh/100 ft <sup>3</sup>
Pureza (concentração de impurezas)	99,9995% (Vapor d'água < 5ppm, Ponto de orvalho -65 °C, N2 < 2 ppm, O2 < 1ppm, todos os outros são indetectáveis)
Taxa máxima de consumo de água deionizada	0,94 L/h (0,25 gal/hr)
Temperatura da água deionizada	+5 °C a 35 °C (41 °F a 95 °F)
Pressão da água deionizada	1,5 a 4 barg (21,8 a 58 PSIG)
Qualidade da água requerida	ASTM Tipo II, água deionizada requerida, < 1 µS/cm (>1 MegOhm-cm)



**Seleção de tecnologia de célula de combustível:** Determinou-se que a tecnologia PEM será empregada no projeto. Essas células operam em temperaturas relativamente baixas e podem variar rapidamente sua produção para atender às mudanças nas demandas de energia. As células de combustível PEM são as melhores candidatas para alimentar automóveis e substituir a tecnologia alcalina.

**Especificação da célula de combustível:** O desenvolvimento do projeto conceitual de engenharia foi realizado considerando o modelo de célula de combustível PEM GREENHUB 2 PRO 2000 da H2PLANET, cujos parâmetros são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2:** Especificações técnicas da célula de combustível.

<b>Característica</b>	<b>Valores</b>
Máxima potência elétrica	1,8 kW
Saída de tensão	48V
Pressão	6 a 25 bar
Consumo máximo de hidrogênio	28 NI/min
Temperatura da célula	3 °C a 40 °C
Temperatura ambiente	menor que 35 °C
Pureza do hidrogênio mínima	99,9995%

**Seleção de tecnologia de armazenamento de hidrogênio:** Um tanque de armazenamento de hidreto metálico será utilizado. Essa tecnologia utiliza um sistema de controle para absorção e desorção do hidrogênio: a ação de resfriamento promove uma absorção mais rápida e completa do hidrogênio durante o carregamento e, ao contrário, o calor promove a desorção completa do gás armazenado para a alimentação das células de combustível.

**Especificação do tanque de armazenamento de hidrogênio:** As dimensões do tanque de hidreto metálico são apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 3:** Especificações técnicas do tanque de hidreto metálico.

<b>Características</b>	<b>Valores</b>
Tamanho	Altura: 38 cm; Diâmetro: 10 cm
Pressão para carregamento	5 – 12 bar
Pressão máxima	30 bar
Pureza mínima de H <sub>2</sub>	99,9995%

**Local de instalação:** A planta será construída no Laboratório de Inovação, no Centro Tecnológico da UFSC, em Florianópolis, Santa Catarina.

**Utilidades previstas:**

**Deionizador de água:** É prevista uma unidade compacta de deionização da água para fornecimento de água de qualidade para o eletrolisador. A qualidade da água deionizada deve ser analisada para garantir que suas propriedades sejam adequadas antes que ela tenha contato com a célula eletrolítica. A qualidade da água deve atender às seguintes especificações:

- ASTM Tipo II, água deionizada requerida,
- ASTM Tipo I, água deionizada preferencial.

A vazão de saída do sistema de deionização de água deve atender o consumo da célula eletrolítica, conforme apresentado na Tabela 1.

**Tubulações:** As pequenas moléculas de hidrogênio causam interação com estruturas cristalinas. Esta interação favorece a criação de linhas de tensão que rompem o sistema de condução de hidrogênio, chamado de fenômeno de fragilização por hidrogênio. Por este motivo, alguns tipos de aço com estrutura cristalina cúbica de corpo centrado, por exemplo, aço ferrítico, não são adequados para processos com hidrogênio. Metais adequados possuem estrutura cúbica de face centrada, como o aço austenítico, alumínio, níquel, etc.. Uma opção bastante utilizada em plantas de hidrogênio renovável é o aço AISI 316 com diâmetro de 10 mm, que é não magnético evitando assim, carregamentos elétricos que produzem faísca.

**Válvulas:** Está previsto a utilização de diversas válvulas para acoplar os subsistemas, alterar os modos de operação, e garantir o anti retorno e segurança do gás. Todas elas devem ter corpo de material que evite os fenômenos associados a danificação das mesmas pelo hidrogênio. O diâmetro das válvulas não deverá ser superior ao diâmetro da tubulação no ponto em que for instalada.

**Transdutores de temperatura:** Transdutores de temperatura devem ser instalados em diversos pontos da planta: no tanque de água de alimentação do eletrolisador, na saída de hidrogênio do sistema de armazenamento, bem como na entrada e saída de água do sistema de armazenamento.

**Transdutores de pressão:** As tubulações devem dispor de dois transdutores de pressão. Um na entrada/saída do sistema de armazenamento de hidrogênio com o objetivo de medir a pressão de carga/descarga e outro conectado na entrada da pilha de combustível para controlar a pressão de entrada de hidrogênio na célula de combustível em seu valor de operação.

**Medidor de vazão mássica de hidrogênio:** Um caudalímetro de hidrogênio deve ser instalado na entrada da célula de combustível para verificar o rendimento real da célula e a cinética de dessorção do sistema de armazenamento. O sensor e seu corpo devem ser de aço inoxidável de grau SAE 316L ou equivalente para evitar a cristalização por hidrogênio.

**Medidor de vazão mássica de água:** Deve-se instalar um medidor de vazão na saída do sistema de refrigeração/aquecimento do tanque de hidreto metálico com o objetivo de medir a vazão de água que circula. Pode ser utilizado um sensor de efeito hall com faixa de funcionamento entre 2 e 30 litros. Esta medição é necessária para verificar a transferência de

calor durante a reação do hidreto metálico para manter o sistema de armazenamento operando corretamente.

**Sistema de secagem do hidrogênio:** Remove a umidade do hidrogênio produzido aumentando a sua pureza.

**Sistema de purga:** Deverá ser previsto um purgador de água contínuo direcionado para a rede de coleta de esgoto.

**CLP e sistema SCADA:** O CLP deve ser composto por módulos de entradas digitais, saídas digitais, entradas analógicas e saídas analógicas. A função do CLP é realizar o controle primário de todo o sistema, ler as variáveis e supervisionar o funcionamento da planta. Quando uma variável estiver fora da faixa de operação segura, o sistema deve entrar em modo de emergência.

O sistema SCADA deve apresentar os equipamentos da planta e sua configuração, e registro/armazenamento das variáveis do sistema. Além disso, ele deve possuir interface com o software Matlab para a implementação de técnicas de otimização e de controle avançado. O Matlab estará instalado em um computador desktop com alta capacidade de cálculo para viabilizar os testes de algoritmos complexos. As saídas dos algoritmos serão transmitidas para o CLP, que por sua vez envia os sinais para a planta.

## Modernização de plantas piloto

### Planta do LEEM

A indústria de petróleo e gás natural é um setor crítico da economia global que requer um alto nível de eficiência e segurança. O processo de extração de petróleo e gás natural é um processo complexo, que envolve o escoamento multifásico de misturas de fluidos (óleo, água e gás) em tubulações de grande extensão. É crucial garantir que o escoamento ocorra de forma eficiente e segura, para evitar problemas como instabilidades no escoamento, danos aos equipamentos e perda de produção.

Para suportar os desenvolvimentos na área de petróleo e gás, o INCT CAPE conta com um Laboratório Experimental de Escoamento Multifásico, onde está localizada uma unidade experimental (UEEM) que será modernizada para o cumprimento dos objetivos de pesquisa do projeto. A planta a ser modernizada conta com bombas para água e óleo, um compressor para ar, tanques de armazenamento e um circuito com tubulação de 6 polegadas. O circuito conta com trechos de subida para que possam ser criados padrões de escoamento verticais, como os típicos do processo de exploração e produção. O processo permite gerar uma vazão de uma mistura controlada de óleo inerte, água e ar comprimido, que passa por um sistema de medição do escoamento e depois por um tanque de separação das fases líquidas e gasosas e finalmente por um separador horizontal de óleo e água.

Neste ano se realizaram atividades para modernizar a arquitetura de controle e automação da unidade, incluindo o sistema de medição e atuação, a rede industrial Foundation Fieldbus (FF),

o controle lógico em CLP, o Sistema Instrumentado de Segurança, as Interfaces Humano-Máquina e o sistema supervisor. As atividades realizadas foram orientadas a manutenção de equipamentos como bombas e válvulas, verificação dos sistemas de comunicação, instalação de softwares, etc.

## Comentários Finais

As atividades do INCT CAPE ao longo de 2023 podem ser consideradas como muito positivas, desde vários pontos de vista. Se realizaram diversas pesquisas com resultados contundentes em número de publicações, com 27 artigos em revistas e congressos, se orientou um grande número de bolsistas de vários níveis (de IC a PDJ), se realizaram várias atividades de divulgação para a comunidade científica e o público em geral e vários dos membros do INCT CAPE participaram de visitas e reuniões de trabalho com equipes de outras universidades no Brasil e no exterior. Finalmente, se iniciou a montagem de um laboratório de pesquisa em controle e automação para microrredes com armazenamento de H2 verde e se realizaram melhorias no laboratório de fluidos multifásicos.