

Indústria Nuclear 4.0 Segura: Proposta de um Sistema Inteligente de Combate a Incêndios e de Outras Emergências para Processos de Produção de Hexafluoreto de Urânio (UF₆), Separação Isotópica, Tricarbonato de Amônio e Uranila (TCAU) e do Combustível Nuclear

Paulo Gabriel Cayres
Universidade de São Paulo

Resumo — Esse artigo tem por objetivo apresentar um sistema inteligente de combate a incêndio e de outras emergências, que está sendo desenvolvido pelo autor, aplicando-se tecnologias da quarta revolução industrial, que permitirá conectá-lo à Internet das Coisas, automatizar ações de risco, operar sinais visuais e sonoros emitindo e mensagens de alertas para acionamento de brigadistas, socorristas, equipes de radioproteção e membros da Comissão Interna de Prevenção de Acidentes. Sugere-se aplicação do sistema proposto em processos industriais contínuos ou discretos da indústria civil ou militar como, por exemplo, indústrias de materiais nucleares, ácidos, amoníacos, petroquímicos entre outros. Também é apresentado no artigo um breve detalhamento das tecnologias embarcadas no sistema em desenvolvimento, suas principais rotinas operacionais e alguns tipos de mensagens que o sistema permitirá emitir a partir da detecção do sinistro ambiente ou no processo que o sistema for implantado.

I. INTRODUÇÃO

A era tecnológica que vivemos hoje denominada quarta revolução industrial ou Indústria 4.0 permite que as tecnologias habilitadoras interfereis, seguras, conversacionais e integradas sejam atuantes nas interfaces de comunicação conectadas a internet de ampla cobertura.

Temos então fábricas inteligentes, com capacidade e autonomia para agendar manutenções, prever falhas em processos e se adaptar aos requisitos e mudanças não planejadas na produção. Para organizar toda essa revolução foram criados pilares para a Indústria 4.0, como *Internet das Coisas* ou IoT, *Big Data e Analytics e Segurança*. Mas de 2011 para cá, muita coisa avançou e a cada dia surgem novas ferramentas analíticas a serem integradas com os dados de produção (Nuvem ou Local), que podem ser acessadas por smartphones e até mesmo *smart watch*, isto é o que chamamos de revolução tecnológica, ter todos esses dados a um clique [2].

As tecnologias da Indústria 4.0 que permitem a fusão dos mundos físico, digital e biológico são a Manufatura Aditiva 3D, AI, a IoT, a Biologia Sintética e os Sistemas *Ciber Físicos* (CPS) e informa que os impactos da Indústria 4.0 sobre a produtividade, redução de custos, controle sobre o processo produtivo, customização da produção, dentre outros, aponta para uma transformação profunda nas plantas fabris [2].

O levantamento da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), cuja a qual tem por meta principal guiar o Brasil para a Indústria 4.0 [3], apresenta a estimativa anual de redução de custos industriais no Brasil, a partir da migração da indústria para o conceito 4.0, cujo valor no mínimo estimado é de R\$ 73 bilhões/ano, sendo subdivididos em R\$ 34 bilhões/ano em ganhos de eficiência, R\$ 31 bilhões/ano na redução de custos com manutenção de máquinas, e R\$ 7 bilhões/ano na economia de energia [2].

Aplica-se, no sistema proposto nesse artigo diversos, hardwares e softwares adotados na Indústria 4.0, visando a inovação tecnológica dentre os sistemas de combate a incêndios e emergência disponíveis no mercado, e possibilitará a solução de problemas industriais de ordem operacional de grande impacto de forma automática e autônoma. Sugere-se que o sistema aqui proposto, especificamente, poderá ser utilizado para combate a incêndio em materiais combustíveis e/ou inflamáveis, e também para conter vazamento de gases asfixiantes, produtos corrosivos, gases ou fluidos radioativos principalmente decorrentes dos processos de conversão, separação isotópica, reconversão e fabricação das pastilhas de dióxido de urânio (UO₂), *in loco*, de forma eficiente e segura, garantindo benefícios tangíveis e intangíveis, como será detalhado. O referido sistema em desenvolvimento, possui atributos que possibilitam projetar seus benefícios tangíveis e intangíveis apresentados na Tabela I.

TABELA I. PRINCIPAIS BENEFÍCIOS PROJETADOS PARA DO SICIE

Tangíveis	Intangíveis
Automação de ações emergenciais possibilitando ganho de tempo para as decisões arriscadas.	Migração tecnológica dos processos discretos e contínuos para o conceito Indústria 4.0.
Inspeção situacional e aviso de falhas a distância.	
Comunicação ampla a qualquer ponto que seja possível operar aparelho telefônico celular.	
Ganho de tempo para evacuações seguras.	
Robustez na segurança das operações da produção.	Redução do stress operacional devido ao alívio do estado alerta.
Preservação de vidas.	
Prevenção de perdas materiais em situações de emergências.	
Redução da proporção do sinistro.	
Redução ou eliminação de impactos do sinistro no meio ambiente.	Evidência de forma eficaz a política de segurança da empresa.
Melhoria da confiabilidade dos recursos de processos produtivos.	
Redução ou eliminação de riscos orgânicos ou financeiros como lucros cessantes.	Agregação de valor aos processos produtivos.

II. TOPOLOGIA DO SISTEMA PROPOSTO

O Sistema Inteligente de Combate a Incêndio e de Outras Emergências (SICIE) proposto, possui moderna estrutura física que reúne, de forma otimizada, elementos mecânicos, elétricos e eletrônicos utilizados de forma diversa na Indústria 4.0. A topologia do SICIE, demonstrada na Fig. 1, é composta pelas seguintes partes:
I – Unidade I/O de processamento e comando transreceptora ou UPCT.
II – Unidades I/O periféricas de atuação e combate local ou UPL.
III – Unidade para Internet of Things ou UIoT.

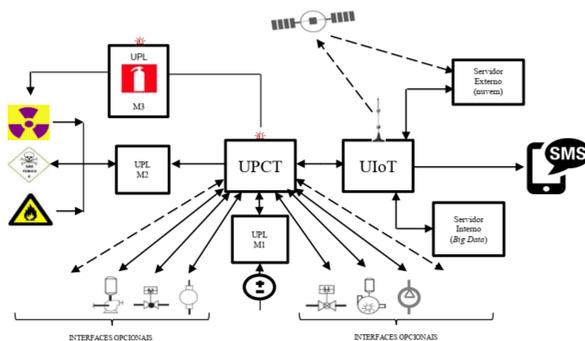


Fig. 1. Representação esquemática do SICIE em desenvolvimento e suas aplicações.

III. CONVERSÃO, RECONVERSÃO E PRODUÇÃO DAS PASTILHAS DE UO₂

A Fig. 2 apresenta de forma esquemática e resumida o processo de conversão do urânio mineral beneficiado, chamado informalmente de torta ou de yellow cake, em hexafluoreto de urânio UF₆ gasoso “empobrecido”, onde é possível observar a necessidade do uso de substâncias perigosas.

A Fig. 3 ilustra o processo de obtenção do hexafluoreto de urânio gasoso enriquecido, por meio de separação isotópica em ultracentrifugas específicas que separam os isótopos ²³⁵U, usados nos reatores de fissão nuclear, que são menos abundantes no urânio natural dos isótopos ²³⁸U, não usados nos reatores de fissão nuclear que são mais abundantes no urânio natural.

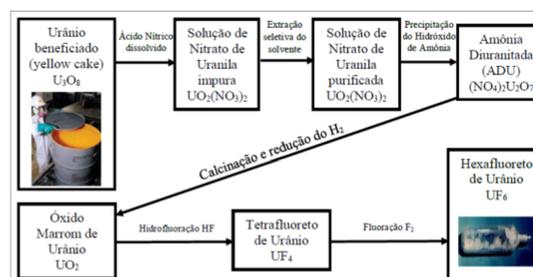


Fig. 2. Conversão química do U₃O₈ em UF₆ gasoso empobrecido

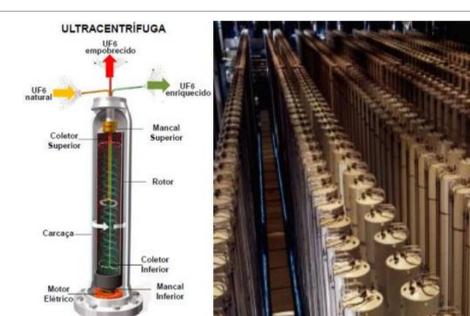


Fig. 3. Ultracentrifuga utilizada no processo de separação isotópica para obtenção do hexafluoreto de urânio enriquecido gasoso [3]

A Fig. 4 representa o processo Reconversão que é um dos processos do ciclo do combustível nuclear, onde é possível observar o uso de substâncias perigosas como amônia (NH₃), dióxido de carbono (CO₂) e urânio no estado gasoso, corrosivo e radioativo para obtenção do combustível nuclear. A Reconversão é o retorno do gás hexafluoreto de urânio (UF₆) a dióxido de urânio (UO₂), sob a forma de pó. O urânio enriquecido em forma de gás passa por diversos processos para gerar o tricarbonato de amônio e uranila (TCAU), um composto sólido e amarelo, que é aquecido e misturado ao hidrogênio e ao vapor d’água. O resultado é um pó que, após ser estabilizado, é utilizado na etapa seguinte: a produção de pastilhas [4]. A Fig. 5 representa o processo de produção das pastilhas do combustível nuclear de UO₂, onde é possível observar a necessidade de instalação barreiras para isolar radiação ionizante e coifas para sucção de gases ou poeiras radiativas. Com o urânio enriquecido sob a forma de pó UO₂ são produzidas as pastilhas de combustível de reação nuclear, que têm a forma de um cilindro de aproximadamente um centímetro de comprimento e de diâmetro.

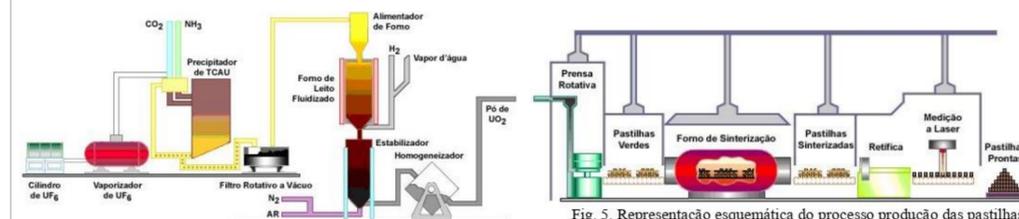


Fig. 4. Representação esquemática do processo Reconversão para obtenção do combustível nuclear [4]

IV. HARDWARE E SOFTWARE EMBARCADOS NO SICIE

Os principais hardware e software embarcados no SICIE estão relacionados nas Tabela II.

TABELA II. PRINCIPAIS ELEMENTOS E SOFTWARES UTILIZADOS PARA CONCEPÇÃO E PROVA DE CONCEITO DO SICIE

Elementos	Descrição
Deteção	Sensores de flash, detectores de fumaça, micro switch, sensor de temperatura, sensor de infravermelho, sensor de aumento de amperagem com interruptor, leitor biométrico, disjuntores e dispositivos contra surtos. Permite aplicação sensores opcionais para detecção de atmosferas corrosivas, asfixiantes, explosivos ou radioativas.
Interfaces	Módulo com bancos de fisíveis, módulos de interface de serial/bornes de fios, módulo de isolamento fotoelétrico, módulo conversor RS232 para TTL e cabo conversor de porta serial para USB.
Lógica	Controlador Lógico Programável em fonte chaveada, módulo arduino, módulo raspberry Pi, filtro contra ruídos, módulo de programação de voltagem, display programável e indicadores.
Atuadores	Alarques sonoros, giraflex de alerta, sinaleros tipo LED, eletro fechaduras, atuador linear, eletroválvulas, manipulador automático para haste de válvulas, transistor, módulo switch para duas voltagens, contator, relé, extintor de incêndio compatível com a classe de incêndio que poderá ser substituído por algum vazo com substâncias neutralizadora pressurizada disparável por gatilho ou acionado por chave de partida como também um sistema com bomba de vácuo, quando exigir sucções para dreno de linhas para evitar propagação de vazamentos de fluidos ou gases perigosos.
IoT	Modem tipo Monitoring and Control Unit (modbus/ethernet) com transreceptora de rádio frequência, antena, cartão SIM, cartão de memória, acoplável a servidor, servidor externo em Nuvem, aparelho telefônico celular capaz de pelo menos comportar Short Message Service - SMS.
Softwares	Ladder, Java®, Arduino IDE, C ou C++, Windows® ou Linux®, Etcher, Raspbian, Webcast e Python.
Mantenedor	Nobreak com autonomia suficiente

REFERÊNCIAS

- <<https://www.ibm.com/blogs/digital-transformation/br-pt/a-industria-4-0-e-os-desafios-no-brasil/>>. Acesso em: 24/07/2020.
- <<http://www.industria40.gov.br/>>. Acesso em: 25/07/2020.
- <www.abdi.com.br/sobre>. Acesso em: 25/07/2020.
- <<https://www.marinha.mil.br/dgdntm/sites/www.marinha.mil.br/dgdntm/files/arquivos/4%20Enriquecimento-%20CA%20EN%20C3%81lvaro%20INB.pdf>>. Acesso em: 22/06/2021.
- <<http://www.inb.gov.br/pt-br/Nossas-Atividades/Ciclo-do-combustivel-nuclear/Reconvers%C3%A3o>>. Acesso em: 22/06/2021.
- <<http://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-2.023-de-12-de-setembro-de-2019-216320828>>. Acesso em: 27/07/2020
- <<http://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-2.024-de-12-de-setembro-de-2019-216320979>>. Acesso em: 27/07/2020.
- <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-70-de-16-de-julho-de-2020-267580871>>. Acesso em: 27/07/2020.
- <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-69-de-16-de-julho-de-2020-267580785>>. Acesso em: 27/07/2020.