

IMPLEMENTAÇÃO DE CONTROLE SUPERVISÓRIO ADERENTE À NORMA IEC 61499

Luiz Fellipe Maciel Guimarães, Paulo Alves Feller, André Bittencourt Leal

INTRODUÇÃO

A automação industrial contemporânea demanda sistemas cada vez mais adaptáveis e escaláveis, o que tem motivado a transição de arquiteturas de controle centralizadas para soluções distribuídas. Entretanto, a norma IEC 61131-3, ainda amplamente utilizada na automação industrial, apresenta limitações significativas quando aplicada a sistemas distribuídos, como a dependência de fornecedores específicos e a baixa flexibilidade frente a reconfigurações. Nesse contexto, a norma IEC 61499 foi concebida para superar essas restrições, introduzindo um modelo de execução orientado a eventos, que promove interoperabilidade, configurabilidade e portabilidade entre plataformas heterogêneas.

Neste trabalho, aplica-se o método de implementação da lógica de controle supervisório em sistemas automatizados, com base na IEC 61499, conforme proposto por Feller *et al.* (2024), fundamentado na teoria de Sistemas a Eventos Discretos (SEDs) e na abordagem Modular Local de Síntese de Supervisores (QUEIROZ; CURY, 2000). A proposta de Feller *et al.* visa mitigar limitações das implementações tradicionais, em especial as restrições do ciclo de varredura e os desafios de sincronização em arquiteturas complexas, destacando-se pelo potencial de automatizar o processo de implantação do controle, reduzindo o erro humano e o tempo de aplicação. Para viabilizar essa automatização, desenvolveu-se uma ferramenta que utiliza modelos de autômatos de estados finitos para representar a planta e as lógicas de controle, empregando o *software* livre NADZORU (PINHEIRO *et al.*, 2015) como suporte à modelagem e execução de operações sobre esses formalismos.

DESENVOLVIMENTO

No contexto deste trabalho, foram desenvolvidas ferramentas auxiliares em linguagem *Python* para automatizar a transformação de autômatos em blocos de função, viabilizando a implementação do método proposto por Feller *et al.* em cenários complexos, onde a execução manual poderia gerar erros indesejados.

O método aplicado consiste na criação de uma arquitetura de controle estruturada a partir de blocos de função (FBs) reutilizáveis e personalizados. A abordagem fundamenta-se na estrutura de controle Modular Local proposta por Queiroz e Cury (2000), com adaptações feitas por Rech (2023) para a norma IEC 61499. Essa estrutura é composta por diferentes grupos de FBs que emulam a dinâmica da planta real, permitindo que a lógica de controle atue corretamente.

O processo de implementação inicia-se com a modelagem da lógica de controle por meio de autômatos finitos, com a devida distinção entre eventos controláveis e não controláveis. Os autômatos são organizados em duas categorias: *State Updaters* (SUs) e *Modular Supervisors* (MSs). Os SUs representam a planta física e tratam da atualização de seus estados, enquanto os MSs restringem a ocorrência de eventos controláveis conforme a lógica de controle.

Na norma IEC 61499, os blocos de função possuem uma estrutura em duas partes. A parte superior é composta pela interface de Entrada e Saída (E/S) de eventos e por uma *Execution Control Chart* (ECC), responsável pela lógica de controle. Já a parte inferior é composta pela interface de E/S e por uma Funcionalidade Encapsulada que pode ser implementada por linguagens de programação como Texto Estruturado.

Nos projetos, os FBs são organizados em colunas sequenciais e o fluxo de eventos e dados acontece da esquerda para a direita, com exceção de algumas realimentações. A comunicação com a planta física e o tratamento de sinais fazem uso de blocos já existentes em bibliotecas públicas e não dizem respeito à implementação do controle.

Cada grupo de blocos de função personalizados possui uma função específica:

- *State Updaters* (SU): Baseados nos autômatos da classe SU, modelam o comportamento virtual da planta, atualizando seus estados com base nos eventos recebidos da planta. Os blocos SU replicam o comportamento dos autômatos dos subsistemas da planta, utilizando o ECC para recriar a máquina de estados.
- *Modular Supervisor* (MS): Recebem informações do SU e geram sinais de habilitação/deshabilitação para os eventos controláveis. Esses blocos também utilizam o ECC para implementar a lógica imposta pelos autômatos dos supervisores.
- *Event Generator* (EG): Recebe os sinais de habilitação dos MS e o estado da planta do SU para gerar os eventos controláveis quando são habilitados e fisicamente possíveis.

A implementação do sistema foi realizada no ambiente de desenvolvimento *4diac IDE* (disponibilizado sob a *Eclipse Public License*, Versão 2.0), com os blocos personalizados para SU, MS e EG sendo integrados à biblioteca existente.

RESULTADOS

A ferramenta desenvolvida possibilitou a geração automática de blocos do tipo SU, MS e EG a partir dos autômatos que representam a planta e a lógica de controle em múltiplos cenários de interesse. A arquitetura orientada a eventos da IEC 61499 viabilizou a obtenção rápida de modelos seguros de controle aplicáveis em controladores com suporte à norma. A automatização do processo de geração destes blocos viabilizou a realização de testes a fim de avaliar as limitações e vantagens do método proposto por Feller *et al.* (2024).

A análise dos resultados demonstrou que a natureza assíncrona da IEC 61499 otimiza o uso dos recursos de processamento, processando os blocos de função apenas em resposta aos eventos correspondentes e mantendo o dispositivo inativo quando não há interação com a planta física, o que aumenta a capacidade de resposta do sistema. Os testes conduzidos em cenários simulados com o *software Factory I/O* comprovaram a robustez do método na replicação de comportamentos industriais, assegurando que a lógica de controle fosse corretamente aplicada e que o comportamento seguro e desejado das plantas simuladas fosse garantido. Esses resultados validam a eficácia do método baseado em estrutura modular orientada a eventos para o controle de sistemas automatizados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho de iniciação científica atingiu os objetivos propostos, ao contribuir para a automatização de um método de implementação de controle supervisorio baseado na norma IEC 61499. O processo de transformação de autômatos em blocos de função mostrou-se uma aplicação prática e eficiente da teoria de Sistemas a Eventos Discretos. Por meio da utilização das ferramentas *NADZORU* e *4diac IDE*, foi possível modelar e processar os autômatos, gerando projetos funcionais de controle validados em cenários simulados no *software Factory I/O*, contribuindo para o avanço tecnológico na área de automação industrial.

Palavras-chave: sistemas a eventos discretos; IEC 61499; blocos de função; controle supervisorio; controladores lógicos programáveis; autômatos finitos determinísticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FELLER, P. A.; ABATTI, G.; LEAL, A. B.; OLIVEIRA, S.. Implementação da Estrutura de Controle Supervisório em Blocos de Função da IEC 61499: um Estudo de Caso. In: XXV Congresso Brasileiro de Automática, 2024, Rio de Janeiro. Anais do XXV Congresso Brasileiro de Automática - CBA, 2024.

QUEIROZ, Max H.; CURY, José E. R. Modular Supervisory Control of Large Scale Discrete Event Systems. In: Discrete Event Systems: Analysis and Control. Boston, MA: Springer US, 2000. p. 103–110. ISBN 978-1-4615-4493-7.

PINHEIRO, L. P.; LOPES, Y. K.; LEAL, A. B.; ROSSO Jr., R. S. U. Nadzoru: A Software Tool for Supervisory Control of Discrete Event Systems. IFAC-PAPERSONLINE, v. 48, p. 182-187, 2015.

RECH, Ricardo Paes. Controle modular local de sistemas ciberfísicos: uma proposta de implementação distribuída aderente à IEC 61499. 2025. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - UDESC, 2023. Disponível em: <https://repositorio.udesc.br/handle/UDESC/18067>. Acesso em: 24 ago. 2025.

DADOS CADASTRAIS

BOLSISTA: Luiz Fellipec Maciel Guimarães

MODALIDADE DE BOLSA: PROBIC/UDESC

VIGÊNCIA: 09/2024 a 08/2025 – Total: 12 meses

ORIENTADOR(A): André Bittencourt Leal

CENTRO DE ENSINO: CCT

DEPARTAMENTO: Departamento de Engenharia Elétrica

ÁREAS DE CONHECIMENTO: Engenharias / Engenharia Elétrica

TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA: Controle Supervisório de Sistemas a Eventos Discretos: em direção à Indústria 4.0 (Parte 2)

Nº PROTOCOLO DO PROJETO DE PESQUISA: NPP3242-2023