

Projeto de sistema SCADA para o novo paradigma da indústria 4.0

SCADA system design for the new industry 4.0 paradigm

Luís Vicente¹ | Mário J.G.C. Mendes^{1,2}

¹ ISEL - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa, Portugal

² Centre for Marine Technology and Ocean Engineering (CENTEC), Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal
Emails: a42292@alunos.isel.pt; mario.mendes@isel.pt

resumo

A Indústria 4.0 veio introduzir grandes mudanças, não só na necessidade de altos níveis de automação, mas sobretudo na necessidade de processos de comunicação eficientes. Desta forma, torna-se fundamental compreender e adaptar os sistemas de supervisão, controlo e aquisição de dados (SCADA) ao novo paradigma da Indústria 4.0. No âmbito desta temática este artigo propõe, recorrendo a uma plataforma de *software* comercial, um novo paradigma de sistema SCADA para integrar o conceito de fábrica inteligente, indo ao encontro da necessária digitalização das empresas. Para tal, foi projetado um *software* SCADA universal, onde foram abordadas algumas das novas capacidades introduzidas pela Indústria 4.0, como a interação com a *internet* industrial das coisas, a computação em nuvem, a comunicação máquina-máquina, o *Big Data* e a Cibersegurança. Para demonstrar as novas e necessárias potencialidades dos sistemas SCADA, implementou-se um caso de estudo real, demonstrando a transformação digital em curso.

Palavras-chave: Monitorização, Sistema de supervisão, controlo e aquisição de dados, Internet Industrial das Coisas, Fábrica Inteligente, Indústria 4.0

abstract

Industry 4.0 introduced major changes, not only in the need for high levels of automation, but above all in the need for efficient communication processes. Thus, it is essential to understand and adapt supervisory, control and data acquisition (SCADA) systems to the new Industry 4.0 paradigm. In the scope of this subject, this paper proposes, using a commercial software platform, a new paradigm of SCADA system to integrate the concept of intelligent factory, meeting the necessary industry digitization. To this end, a universal SCADA software was designed, which addressed some of the new capabilities introduced by Industry 4.0, such as interaction with the industrial internet of things, cloud computing, machine-machine communication, Big Data and Cybersecurity. To demonstrate the new and necessary capabilities of SCADA systems, a real case study was implemented, demonstrating the ongoing digital transformation.

Keywords: Monitoring, Supervision, control and data acquisition system, Industrial Internet of Things, Intelligent Factory, Industry 4.0

1- INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0 traduz a quarta revolução industrial, caracterizada pela necessidade de juntar os conhecimentos obtidos na área de automação com as novas tecnologias digitais disponíveis no mercado (Marr, 2018). A visão desta revolução é passar de um processo físico para um sistema ciber-físico (CPS) integrado na produção, onde o mundo físico está totalmente integrado ao mundo cibernético. Desta forma a Indústria 4.0 pretende atingir uma conexão em rede, traduzida pelo conceito de fábrica inteligente, onde é proporcionada a comunicação entre as pessoas, os processos e os equipamentos. Para além dos CPS, para uma conexão em rede, a Indústria 4.0 vem promover a implementação de *internet* industrial das coisas (IIoT), sistemas integrados, computação em nuvem, *Big Data* (BD), comunicação máquina-máquina (M2M), a monitorização de avarias em tempo real, a virtualização dos processos, entre outros conceitos, de modo a promover a interligação entre toda a fábrica e transformar os dados adquiridos numa vantagem competitiva (Qassim *et al.* 2017). Os diversos conceitos apresentados devem ser abrangidos por todos os setores duma organização, mantendo-os interligados (Cotteleer e Sniderman 2017). De modo a existir uma supervisão e uma troca de informação eficaz, a adoção dos conceitos apresentados é fundamental (Vaidya, 2018). O crescente aumento da automação proveniente da nova abordagem industrial, tem vindo a permitir atingir maiores níveis de supervisão dos processos, em grande parte devido ao aumento significativo de elementos sensoriais e da colaboração digital. Há vários anos que a supervisão dos processos industriais é feita através de sistemas SCADA, no entanto, com a mudança de paradigma na Indústria 4.0 são agora exigidas as novas funcionalidades já apresentadas. O objetivo deste trabalho é desenvolver um *software* SCADA, destacando o papel deste no conceito de fábrica inteligente. O *software* a projetar deve permitir implementar um sistema SCADA funcional, combinando todas as funções tradicionais destes sistemas com os novos requisitos da quarta revolução industrial.

Este artigo está organizado com as seguintes secções: secção II, Sistemas SCADA na Indústria 4.0, onde são referidas as potencialidades dos sistemas SCADA; secção III, Plataforma de *software* SCADA, onde é selecionada a plataforma para desenvolver o *software* SCADA, secção IV, Projeto do *software* SCADA, onde é apresentado o projeto; secção V, Simulação e testes do sistema SCADA; secção VI, Conclusão.

2- SISTEMAS SCADA NA INDÚSTRIA 4.0

A troca de informação dentro das organizações é realizada através de redes de comunicação. Num ambiente 4.0 todas as redes de comunicação devem integrar-se através da IIoT, proporcionando a criação de um CPS, onde existe uma interligação entre o mundo virtual e o mundo físico (Parrott, 2017). As principais redes de comunicação nas organizações são a rede horizontal e a rede vertical. A rede horizontal integra toda a cadeia de valor dos produtos

desde os fornecedores até aos clientes. Enquanto a rede vertical, interliga o chão de fábrica aos diferentes níveis de organização e gestão duma empresa (Uriarte, 2018). Quando ambas as redes de comunicação são integradas num CPS, ocorrem melhorias nos processos de partilha de informação entre máquinas, fornecedores, trabalhadores e clientes. Esta integração possibilita ainda, a monitorização e o controlo dos processos produtivos e a adaptação dos processos de fabrico às necessidades dos clientes (Zanni, 2015).

A pirâmide de automação, representada na Fig. 1, pode ser considerada uma rede de integração vertical, que descreve os diversos patamares de automação numa fábrica, desde o chão de fábrica até aos diferentes níveis de gestão (Uriarte *et al.* 2018). Com a adoção da Indústria 4.0 é agora exigido a comunicação entre todos os níveis organizacionais da pirâmide da automação, criando assim um fluxo de dados bidirecional entre todos os níveis, transmitindo a informação para toda a organização, por forma a possibilitar aos usuários finais a tomada de decisões baseadas nos dados e consequentemente melhorar os seus processos.

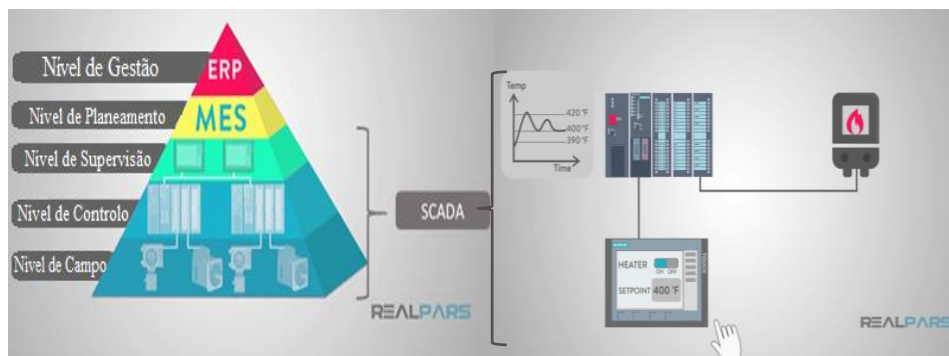


Fig. 1 | Pirâmide da Automação [Inspirado em (Real Pars, 2019)].

Um sistema SCADA engloba os três primeiros níveis da pirâmide de automação, desde os sensores e atuadores presentes no chão de fábrica, passando pelos controladores lógicos programáveis (PLCs) até à interação com os humanos através das interfaces homem-máquina (HMIs). É muito importante adequar o *design* das interfaces das HMIs às necessidades dos operadores. Uma interface bem projetada, com uma leitura fácil e opções claras, causa menos erros, aumenta a produtividade, reduz o *stress* do operador e evita perdas significativas para as indústrias. Infelizmente, na maioria dos casos, as interfaces têm contribuído (devido aos seus fracos desenhos), para aumentar incidentes e acidentes, causando resultados não esperados (ISA, 2016).

Com a aquisição de novas capacidades, os sistemas SCADA tornam-se cada vez mais uma peça chave para a adoção de um CPS, integrado no conceito de fábrica inteligente. Estes promovem a comunicação e a troca de dados entre todas as camadas da pirâmide da automação em tempo real (Zanni, 2015). No entanto, devido à permanente ligação à *internet*, passou a existir a possibilidade de ocorrerem diversos ataques cibernéticos nos sistemas SCADA, obrigando à introdução de sistemas de segurança cibernética (Bhamare *et al.*, 2020; Upadhyay, 2019).

3- PLATAFORMAS DE SOFTWARE SCADA

A maioria dos *software* SCADA são projetados através de plataformas especializadas. Assim para desenvolver um *software* SCADA que cumpra os atuais requisitos da Indústria 4.0 recorreu-se a uma plataforma de *software* SCADA comercial. Na seleção da plataforma consideraram-se as seguintes premissas: baseada na IIoT e em protocolos abertos, que trabalhasse com qualquer sistema operativo e com qualquer marca de PLCs/HMIs, que permitisse comissionamento via web e na *cloud*, que trabalhasse tanto em *desktop* como em *smartphones* (mobilidade total), permitisse a monitorização e controlo remoto, que fosse escalável, que tivesse técnicas de cibersegurança modernas e que tivesse licenciamento ilimitado nas variáveis. Além claro do suporte técnico fornecido e da capacidade de armazenamento dos dados e ligação a sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*). A Tabela 1 identifica as diversas plataformas de *software* comerciais, desenvolvidas por diversas organizações, que possibilitam desenhar um *software* SCADA.

Entre as várias plataformas de *software* SCADA, para desenvolver este projeto foi selecionado o Ignition, fornecido pela Inductive Automation®, tendo em conta que é uma plataforma de *software* universal e que cumpre com todos os requisitos que um *software* SCADA deve ter na Indústria 4.0.

Esta plataforma de *software* é caracterizada como um centro de comunicações (tal como representado na Fig. 2), e cumpre todas as premissas atrás referidas. Esta plataforma pode ser

Tabela 1 | Plataformas de *software* SCADA (Muthukrishnan 2019)

Plataformas de Software SCADA	Fornecedor
MicroSCADA Pro	ABBsistema®
AggreGate SCADA / HMI	Tibbo SYSTEMS®
DAQFACTORY HMI / SCADA SOFTWARE	Azeotech®
CIMPLICITY	GE Digital®
iFIX	
CREW	Esa Automation®
GENESIS64	ICONICS®
zenon	COPADATA®
zenon Operator	
Ignition 8	Inductive Automation®
iX HMI Software	Beijer electronics®
GT SoftGOT	Mistubishi Electric®
FACTORYTALK VIEW MACHINE EDITION	Rockwell Automation®
SIMATIC WinCC V7 SCADA	Siemens®
vtscada	Trihedral®

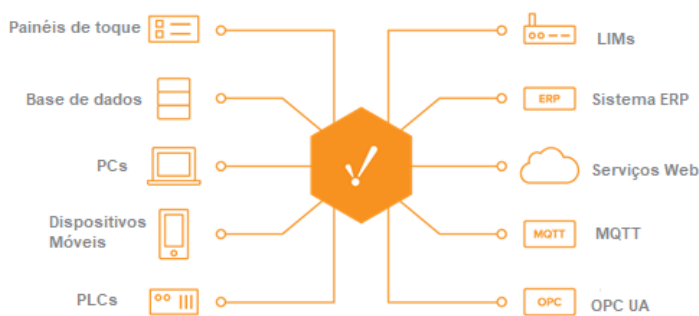


Fig. 2 | Conexões possíveis com a plataforma de *software* Ignition [Inspirado em (Craig 2014)].

utilizada desde o chão de fábrica até ao departamento de vendas e *marketing*, permitindo quebrar as barreiras entre os sistemas SCADA e outros sistemas, resultando em eficiências que não seriam possíveis de outra maneira.

Outra das funcionalidades importantes que levaram à seleção do Ignition, prende-se com a sua escalabilidade, ou seja a capacidade de atualizar cada projeto à medida da necessidade de cada utilizador, permitindo ampliar a sua arquitetura base. Além disso, este possui uma arquitetura modular que permite adicionar mais módulos ao longo do tempo, introduzindo novas funcionalidades, garantindo assim a capacidade de se adaptar às necessidades futuras dos sistemas SCADA.

4- PROJETO DO SOFTWARE SCADA

No âmbito deste trabalho, foi desenvolvido um *software* SCADA que permite supervisionar processos numa indústria inteligente. Com o intuito de desenvolver um projeto com aplicação prática no mercado atual, o caso de estudo (embora simulado) é baseado num processo real, o controlo e a supervisão de um parque de combustíveis. Por motivos de confidencialidade não é possível identificar o parque de combustíveis em questão. O parque de combustíveis é então composto pela receção de combustível (via navio), pelo armazenamento do combustível em reservatórios e pela expedição do combustível através de camiões-cisterna. Neste parque, todas as operações são controladas de forma automática com recurso a PLCs. O *software* SCADA desenvolvido faz a monitorização e a supervisão de todas as operações, e procura responder a todas as necessidades introduzidas pela Indústria 4.0. Como o parque de combustíveis é uma instalação de alto risco (pois armazena fluidos inflamáveis) é essencial possuir um sistema SCADA que garanta também a segurança operacional da instalação.

4.1. Arquitetura idealizada para o sistema SCADA

Dependendo da dimensão e complexidade, os sistemas SCADA podem apresentar diversas arquiteturas. Antes do projeto do *software* SCADA propriamente dito, foi idealizada uma

arquitetura possível de implementar através do projeto em desenvolvimento. A idealização da arquitetura para um sistema SCADA permite especificar os diversos componentes que irão comunicar com o *software* SCADA. Deste modo, a arquitetura idealizada para o sistema SCADA encontra-se representada na Fig. 3. Esta arquitetura é composta por um servidor onde o Ignition Gateway é instalado. No Ignition Gateway é alojado o *software* SCADA em desenvolvimento, possibilitando a conexão com PLCs e bases de dados, permitindo o acesso de diversos dispositivos. Esta arquitetura é considerada a mais simples, no entanto, esta serve como ponto de partida para arquiteturas mais complexas, uma vez que pode ser adaptada a qualquer momento, caso haja necessidade. O servidor onde o Ignition Gateway é instalado está permanentemente ligado à internet, criando assim uma arquitetura baseada na IIoT, onde toda a informação pode ser transmitida e acedida em qualquer lugar.

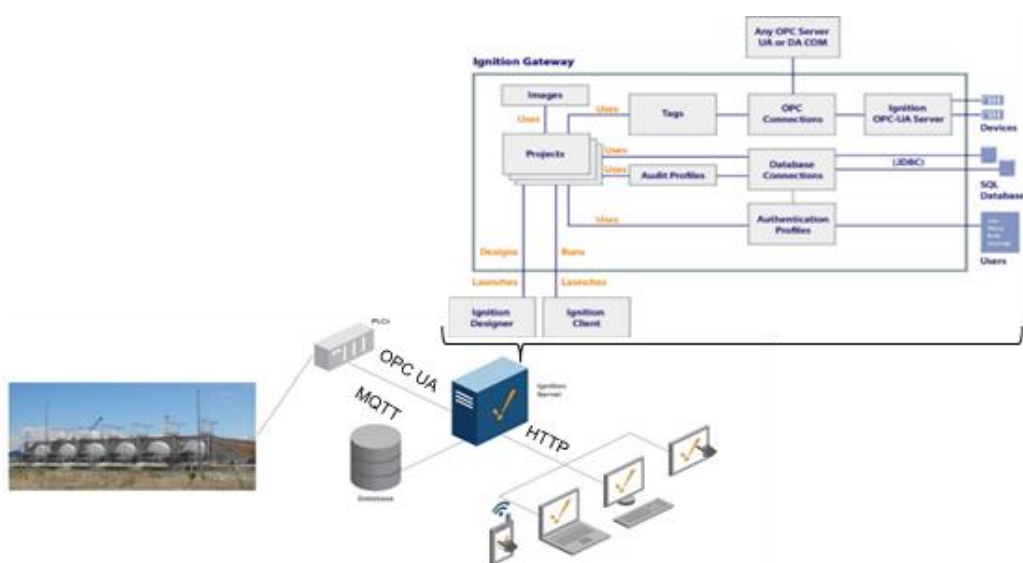


Fig. 3 | Arquitetura do sistema SCADA (Inspirado em (I. Automation, 2019)).

Para desenvolver um *software* SCADA universal, todas as *Tags* (etiquetas/símbolos de programação) necessárias ao controlo e supervisão do parque de combustíveis foram criadas através do *software* SCADA. Esta estratégia permite desenvolver todo o projeto sem a necessidade de conexão aos PLCs, permitindo posteriormente a ligação com qualquer marca de PLCs. O *software* SCADA desenvolvido utiliza a ligação aos bancos de dados, tanto para armazenar grandes quantidades de dados como para a troca de dados com outros *softwares*. Devido às potencialidades da plataforma de *software* Ignition, que permite uma fácil conexão com a *internet*, o banco de dados pode estar localizado num servidor ou na nuvem. A ligação do *software* SCADA com a *internet*, assim como a ligação com os bancos de dados presentes na nuvem, permite que *softwares* de análise de *Big Data* (*machine learning* por exemplo) acedam aos dados, efetuando as análises necessárias (quer online quer offline). Adicionalmente, a plataforma de *software* Ignition suporta os protocolos de comunicação *Open Platform Communications United Architecture* (OPC UA) e *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), permitindo que o *software* SCADA desenvolvido se interligue com os diversos dispositivos presentes no parque de combustíveis, promovendo a comunicação M2M, o que se traduz num aumento da automação e numa comunicação universal através de protocolos abertos.

4.2. Funções do software SCADA

No contexto da Indústria 4.0, com os modernos sistemas SCADA, os operadores devem ter acesso a todas as operações no parque de combustíveis, permitindo o acesso a todas as informações, evitando e alertando para eventuais avarias. Tendo isto em vista, foram desenvolvidas as seguintes funções no software SCADA:

4.2.1 Supervisão em tempo real

Para permitir a supervisão do parque de combustíveis em tempo real, a partir de qualquer lugar, foram desenvolvidas duas aplicações de supervisão, que apesar de simulares apresentam objetivos diferentes. A integração das duas aplicações cria um software que permite o ajuste às necessidades de cada utilizador, em cada situação. Uma aplicação é dedicada à supervisão de todo o parque de combustíveis, a partir do chão de fábrica ou de salas de controlo, e foi desenvolvida recorrendo ao módulo *Vision* do Ignition. Enquanto a outra é dedicada à supervisão do parque de combustíveis, em qualquer lugar, a partir de dispositivos móveis com acesso à internet e via protocolo de comunicação *Hyper Text Transfer Protocol* (HTTP), desenvolvida recorrendo ao módulo *Perspective* do Ignition. Apesar de apresentarem objetivos diferentes, ambas as aplicações de supervisão são idênticas. Todas as janelas (sinópticos) dedicadas à supervisão foram desenvolvidas seguindo as recomendações da norma ANSI/ISA-101.01-2015. Desta forma, as janelas referidas foram construídas numa escala de cinza recorrendo a animações e cores vivas (vermelho e verde) para demonstrar o estado dos processos e situações anormais como alertas ou alarmes.

Como referido anteriormente, a aplicação em *Perspective* é dedicada aos dispositivos móveis com tamanhos de ecrãs distintos, contendo duas versões. Uma versão é dedicada a ecrãs com uma largura superior a 540 pixels (Fig. 4 a) e outra para os dispositivos com ecrãs inferiores a esse valor (Fig. 4 b). Ambas as aplicações permitem executar as mesmas tarefas, apresentando diferenças apenas no seu *layout*, por forma a melhor se adaptarem às necessidades dos utilizadores.

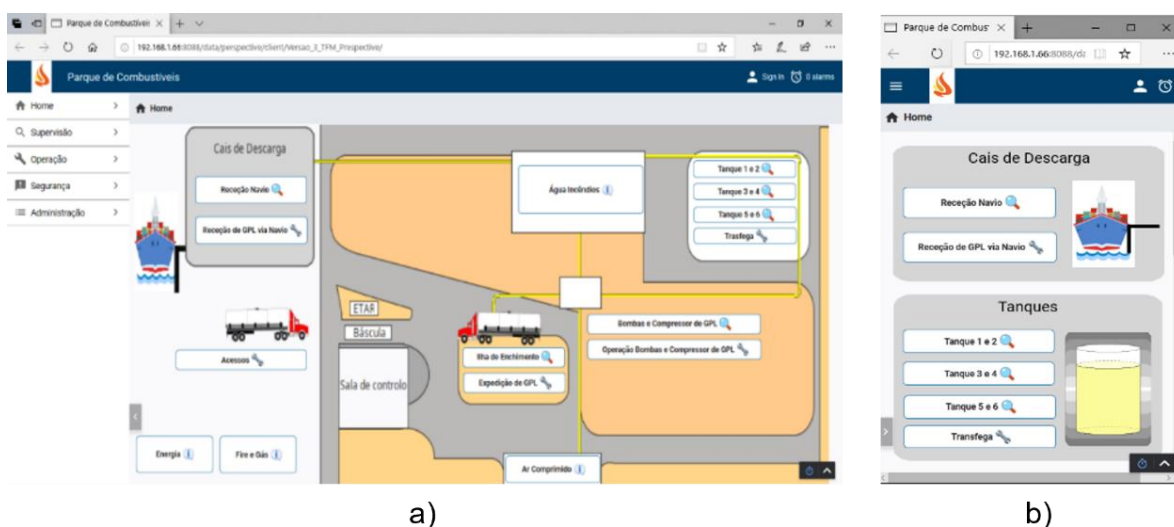


Fig. 4 | Layout da aplicação em *Perspective*. a) Ecrã com largura superior a 540 pixels. b) Ecrã com largura inferior a 540 pixels.

4.2.2 Troca e comunicação dos dados

A Indústria 4.0 exige uma constante troca de informação entre todas as aplicações organizacionais. De modo a garantir essa troca de informação, o *software* SCADA desenvolvido permite recolher, transmitir e armazenar todos os dados referentes ao parque de combustíveis. Devido à interligação e comunicação do *software* SCADA com os PLCs que controlam o parque de combustíveis, há uma permanente aquisição de dados relativos ao estado dos processos. A interligação com o banco de dados permite que o *software* SCADA armazene todos os dados relevantes, possibilitando ainda que outros softwares acessem a esses dados e fazendo com que a informação esteja disponível em qualquer lugar e a qualquer hora.

A geração e gestão de alarmes é uma das funções fundamentais de qualquer *software* SCADA e, neste caso, para se garantir a segurança do parque de combustíveis. Em caso de falhas é fundamental que o problema seja identificado, que o alarme correspondente seja ativado, notificando os responsáveis por essa secção e que a solução do problema seja encontrada (automaticamente ou manualmente) por forma a solucionar o problema no menor intervalo de tempo possível. Para além dos alarmes ativos ficarem visíveis nas aplicações de supervisão, é fundamental notificar os utilizadores sempre que um alarme é ativado, para que estes possam ser solucionados no menor tempo possível.

4.2.3 Relatórios de alarmes automatizados

Os relatórios são um dos recursos mais importantes para transmitir informações dos operadores aos administradores. No conceito da Indústria 4.0, automatizar os relatórios torna-se assim uma necessidade, para que as organizações possam usufruir de todas as suas vantagens. Por forma a analisar as ocorrências de alarme, foi automatizado um relatório semanal com todos os alarmes ocorridos nesse período. O processo de distribuição dos relatórios também foi automatizado, assim o relatório de alarmes é enviado por e-mail para os utilizadores configurados.

4.2.4 Segurança do *software* SCADA

Garantir a segurança das operações no parque de combustíveis é fundamental, uma vez que com a constante ligação há internet aumenta o risco de ciberataques. Deste modo, a estratégia adotada para manter a segurança cibernética do *software* SCADA do parque de combustíveis passa por manter o seu acesso restrito. Esta estratégia é sustentada numa política baseada em funções, onde as permissões de segurança são definidas para essas funções, em vez de definidas para utilizadores específicos. As funções permitem que os utilizadores sejam atribuídos, removidos ou adicionados sem afetar a política de segurança. A cada utilizador é atribuída uma ou mais funções. Dependendo da função atribuída, variam as permissões de cada utilizador (Ignition Documentation, 2020). As funções definidas são baseadas nas necessidades dos utilizadores, bloqueando as ações não autorizadas, por forma a evitar erros e garantir a segurança do parque de combustíveis. Cada utilizador tem de possuir uma conta, onde para aceder ao sistema necessita do seu *username* e *password*.

De modo a registar todas as ações realizadas através das aplicações de supervisão, foi desenvolvido um sistema de auditoria. O sistema de auditoria permite registar automaticamente as ações que ocorrem no sistema, como por exemplo, abrir e fechar uma válvula ou

introduzir um novo utilizador. Todas essas ações são registadas numa tabela do banco de dados automaticamente, que pode ser consultada nas aplicações de supervisão que constituem o *software* SCADA.

5- SIMULAÇÃO E TESTES DO SISTEMA SCADA

Após o projeto concluído foi criado um sistema SCADA virtual, através do *software* SCADA desenvolvido, para aferir/testar o funcionamento de todas as suas funcionalidades. O servidor Ignition, onde está inserido o *software* SCADA foi assim conectado a um PLC virtual localizado no mesmo servidor. O PLC virtual simula o funcionamento do PLC SIMATIC S7-1200, CPU 1215C DC/DC/Rly, recorrendo ao programa PLC-Simulation S7 (PLCSIM), onde foram carregadas algumas funções dedicadas ao controlo do parque de combustíveis, desenvolvidas através do programa Tia Portal da Siemens®.

A ligação entre o PLC virtual e o *software* SCADA foi realizada através do protocolo de comunicação Ethernet TCP/IP, recorrendo ao programa NetToPLCsim, como representado na Fig. 5, onde as informações foram transferidas através do padrão tecnológico OPC UA. Após o sistema SCADA virtual configurado, através das diversas aplicações de supervisão foram testadas as várias funcionalidades do *software* SCADA apresentadas neste artigo.

Através do *software* SCADA desenvolvido é possível supervisionar todas as operações existentes no parque de combustíveis. Este está inserido num servidor ligado constantemente à página Gateway do Ignition localizada na *internet*, proporcionando uma arquitetura em rede, baseada na IIoT, onde toda a informação pode ser transmitida e acedida.

O *software* SCADA desenvolvido permite interligar todos os PLCs que controlam todos os processos, com todos os trabalhadores e com todos os equipamentos. Este tem a capacidade de se conectar com PLCs de diversas marcas, através dos protocolos MQTT e OPC UA, possibilitando a comunicação mesmo quando os PLCs se encontrarem fisicamente afastados, tornando o *software* desenvolvido universal. Este *software* suporta ainda a comunicação com todos os equipamentos que venham a ser instalados através do protocolo OPC UA. Para se conectar com os trabalhadores,

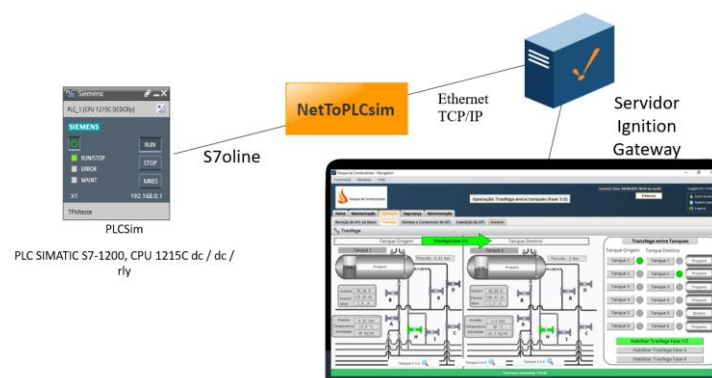


Fig. 5 | Configuração do sistema SCADA virtual

o *software* SCADA pode ser acessado através das diversas tipologias de HMIs, como é o caso de monitores, computadores, *smartphones* e *tablets*, recorrendo à *internet* através do protocolo HTTP. O *software* SCADA desenvolvido também se conecta a bases de dados localizadas tanto em servidores como na nuvem.

A plataforma onde o *software* SCADA foi desenvolvido é baseada em módulos. Deste modo é possível adicionar funcionalidades à plataforma de *software* Ignition, o que se traduz na possibilidade de adicionar funcionalidades ao *software* SCADA à medida das necessidades da organização. Por outro lado, a divisão por módulos possibilita que em caso de falha numa funcionalidade as restantes continuam ativas.

Em termos de supervisão, o *software* SCADA projetado dá a capacidade aos utilizadores de supervisionarem processos, tanto no chão de fábrica (a partir da aplicação em *Vision*), como em qualquer lugar do mundo (a partir da aplicação em *Perspective*), através de qualquer dispositivo com acesso à *internet*. Este *software* permite ainda, recolher e transmitir informações sobre o estado da produção, aceder a informações provenientes de outros sistemas organizacionais, gerar alertas e alarmes notificando os utilizadores, gerar relatórios automaticamente e registar todas as ações realizadas através das aplicações de supervisão.

A estratégia de segurança adotada baseia-se em tornar o acesso ao *software* SCADA restrito. Deste modo para aceder ao sistema referido é necessária uma conta de utilizador. Além disso, as permissões dentro do *software* SCADA são limitadas, consoante a função dos utilizadores. Desta forma, esta estratégia reduz as possibilidades de alguém inadvertidamente colocar em perigo as operações dentro do parque de combustíveis. Todas as ações realizadas pelos utilizadores no *software* SCADA são ainda armazenadas através de processos de auditoria, reforçando assim a segurança deste sistema. Através do sistema SCADA simulado, verificou-se que todas as funções enumeradas funcionam corretamente.

6- CONCLUSÕES

O *software* SCADA projetado cumpre com os principais conceitos introduzidos pela Indústria 4.0, promovendo o conceito de fábrica inteligente. Assim, este trabalho tenta demonstrar a importância dos novos tipos de *software* SCADA, nomeadamente as novas capacidades ajustadas à revolução industrial em curso, como a modularidade, trabalho em nuvem, virtualização dos sistemas e HMI com acesso remoto via *internet*. O moderno *software* SCADA pretende aumentar a eficiência dos sistemas produtivos e diminuir o tempo de resposta às avarias no sistema, mantendo os trabalhadores sempre informados dos acontecimentos. Conclui-se assim que a adoção de um sistema SCADA baseado na IIoT é um dos passos estratégicos para materializar a fábrica inteligente do futuro. O aspeto mais importante num projeto de um *software* SCADA é a aprovação dos seus utilizadores por forma a torná-los mais produtivos. Assim, o próximo passo deste projeto deve passar por desenvolver um gêmeo digital, que possa ser testado pelos utilizadores, recolhendo o seu *feedback* e, introduzindo as

mudanças necessárias no projeto por forma a satisfazer as suas necessidades. Um sistema SCADA não é um projeto estático. Assim, este deve ser atualizado há medida da evolução das necessidades da organização.

REFERÊNCIAS

- Automation, Inductive. 2019. "Standard Architecture - Ignition User Manual 8.0 - Ignition Documentation." 2019.
<https://docs.inductiveautomation.com/display/DOC81/Standard+Architecture>.
- Bernard Marr. 2018. "What Is Industry 4.0? Here's A Super Easy Explanation For Anyone." *Forbes*, 4–7.
- Bhamare, Deval, Maede Zolanvari, Aiman Erbad, Raj Jain, Khaled Khan, and Nader Meskin. 2020. "Cybersecurity for Industrial Control Systems: A Survey." *Computers & Security* 89: 101677.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cose.2019.101677>.
- Cotteleer, Mark, and Brenna Sniderman. 2017. "Industry 4.0 Overview | Deloitte Insights." 2017.
<https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/industry-4-0/overview.html>.
- Craig, Resnick. 2014. "Ignition Technology Offers Potential to Disrupt HMI/SCADA Market | Inductive Automation." 2014.
<https://www.inductiveautomation.com/resources/article/technology-offers-potential-to-disrupt-hmi-scada-market>.
- ISA. 2016. "Introdução à Norma ISA-101: Interfaces Homem-Máquina." 2016. <http://isasp.org.br/wp-content/uploads/2020/01/ISA-101-III-Simpósio-ISA-São-Paulo-Sabesp-Nov2016.pdf>.
- Muthukrishnan, Vidya. 2019. "SCADA: What Is It? (Supervisory Control and Data Acquisition) | Electrical4U." 2019. <https://www.electrical4u.com/scada-system/>.
- Parrott, Aaron, and Lane Warshaw. 2017. "Industry 4.0 and the Digital Twin." *Deloitte University Press*, 1–17.
- Qassim, Qais, Norziana Jamil, Izham Zainal Abidin, Mohd. Ezanee Rusli, Salman Yussof, Roslan Ismail, Fairuz Abdullah, Norhamadi Ja'afar, Hafizah Che Hasan, and Maslina Daud. 2017. "A Survey of SCADA Testbed Implementation Approaches." *Indian Journal of Science and Technology* 10 (26): 1–8. <https://doi.org/10.17485/ijst/2017/v10i26/116775>.
- Real Pars. 2019. "What Is the Automation Pyramid? | RealPars." 2019.
<https://realpars.com/automation-pyramid/>.
- "Security - Ignition User Manual 8.0 - Ignition Documentation." n.d. Accessed June 13, 2021.
<https://docs.inductiveautomation.com/display/DOC81/Security>.
- Upadhyay, Darshana, and Srinivas Sampalli. 2019. "SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) Systems: Vulnerability Assessment and Security Recommendations." *Computers & Security* 89: 101666. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cose.2019.101666>.

- Uriarte, Ainhoa, Amos H.C. Ng, and Matías Moris. 2018. "Supporting the Lean Journey with Simulation and Optimization in the Context of Industry 4.0." *Procedia Manufacturing* 25: 586–93. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.06.097>.
- Vaidya, Saurabh, Prashant Ambad, and Santosh Bhosle. 2018. "Industry 4.0 - A Glimpse." *Procedia Manufacturing* 20: 233–38. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034>.
- Zanni, Alessandro. 2015. "Sistemas Cyber-Físicos e Cidades Inteligentes." 2015. <https://www.ibm.com/developerworks/br/library/ba-cyber-physical-systems-and-smart-cities-iot/index.html>.