

QUADROS ELÉTRICOS COMUNICANTES PARA A INDÚSTRIA 4.0

Resumo

O quadro elétrico inteligente (*Smart Panel*) representa uma evolução significativa na gestão e monitorização da energia elétrica em ambientes industriais, contribuindo para a transformação digital e o avanço da Indústria 4.0. O presente artigo visa disponibilizar uma solução possível para a implementação de um *Smart Panel*, tirando partido das potencialidades desta tecnologia. Para este projeto foi elaborada a lista do material necessário e definidos os esquemas unifilares de potência e de comunicação, assim com a realização dos ensaios ao *Smart Panel*. Tendo por base o conceito de Indústria 4.0, esta proposta de quadro elétrico inteligente, envolve dispositivos com competências e aptidão para a comunicação entre si em modo *Wireless/Modbus*. Com o auxílio do software *EcoStruxure Power Commission* da Schneider Electric e das páginas *on-board* dos equipamentos comunicantes, foi possível aceder diretamente aos parâmetros recolhidos, para sua análise e tratamento.

Palavras-chave: Quadro elétrico comunicante; Indústria 4.0; Protocolo *Modbus*; Modos de comunicação

1. Introdução

Tradicionalmente, os quadros elétricos são equipamentos responsáveis por distribuir e monitorizar a energia elétrica em ambientes industriais.

O quadro elétrico inteligente é uma inovação importante para a Indústria 4.0 pela sua capacidade de comunicação sem fios, usando protocolos como o *Modbus*. Trata-se de um protocolo de comunicação largamente utilizado na automação industrial, que permite a troca de informação entre dispositivos eletrónicos ligados à rede [1].

Ao incorporar a comunicação sem fios e o protocolo *Modbus* ao quadro elétrico, obtêm-se benefícios consideráveis na Indústria 4.0, pois é possível eliminar o tradicional cabeamento complexo e dispendioso e garantir a instalação e manutenção mais rápidas e económicas [2]. Para além disso, o protocolo *Modbus* permite a monitorização dos quadros em tempo real, com rápido acesso aos dados de consumo de energia, ao estado dos dispositivos e às informações de falhas em qualquer momento e de qualquer lugar [3].

No atual ambiente industrial cada vez mais tecnológico e digital, impulsionando o desenvolvimento de novas soluções e inovações industriais, a eficiência característica de um quadro elétrico numa instalação fabril poupa tempo e recursos na gestão energética da instalação e otimização do seu consumo de energia [4]. Por definição, o quadro elétrico engloba as funções de proteção e comando, bem como, todo o conjunto de elementos contidos no seu interior. A qualidade, em termos de segurança, das respetivas ligações e, ainda, dos alicerces de sustentação ou invólucros, como parâmetros externos, revela-se essencial para o correto funcionamento da instalação [5].

Os fatores como a versatilidade da indústria, a implementação e o reforço de potências cada vez mais digitais, caracterizam o propósito da Industrial *Internet of Things* (IIoT), na mais recente vertente tecnológica da Indústria 4.0 [7]. Desta forma, os aparelhos que se dispõem dinamicamente operantes e que comportem tarefas como a deteção e resolução de erros, o controlo, a otimização e a operação de forma autónoma, tornam-se os novos critérios para a evolução de produtos industriais [8], [9].

Desta forma, as empresas nacionais e internacionais desenvolveram produtos destinados a dar resposta às novas exigências de mercado.

É o caso da empresa nacional Prismapor, que desenvolveu e implementou soluções que integram elementos inteligentes, caminhando para o avanço da nova geração dos quadros elétricos inteligentes [10]. A tecnologia de quadros elétricos comunicantes, pela sua simplicidade e acesso fácil ao trânsito de informação, têm sido a solução adotada pela empresa.

Os quadros elétricos comunicantes são sistemas que combinam a tecnologia de automação e controle com a infraestrutura elétrica de uma instalação, sendo projetados para gerir a distribuição de energia com comunicação bidirecional entre os dispositivos do sistema. Os benefícios dos quadros elétricos comunicantes incluem o aumento da eficiência energética, a detecção precoce de problemas elétricos, a redução dos custos de manutenção e a capacidade de resposta rápida a flutuações de energia [11]. Dada a sua interação dinâmica entre os equipamentos e sistemas, consegue melhorias substanciais na capacidade e tempo de resposta a situações anómalas [12].

Este artigo pretende demonstrar as potencialidades de um quadro elétrico comunicante ou *Smart Panel*, que funde os princípios de um quadro elétrico tradicional com dispositivos inteligentes.

2. Projeto do Quadro Elétrico

2.1. Terminologia

Neste ponto é apresentada a terminologia complementar à compreensão da constituição do quadro elétrico e lista de material. Na Tabela 1 são apresentados os dispositivos e as respetivas características, nomeadamente o tipo de equipamento e funções associadas [13].

Os modos de comunicação são apresentados na Tabela 2, assim como os protocolos e modos de funcionamento associados [14]–[17].

Tabela 1. Dispositivos e Características

Dispositivo	Características
<i>Com'X 510</i>	Servidor de energia, <i>gateway "plug and play"</i> compacta para registo de dados.
<i>Smartlink SI B</i>	Módulo de comunicação <i>Ethernet Modbus TCP/IP</i> e <i>Wireless</i> com 1 grupo de 7 canais digitais e 1 grupo de 1 canal analógico.
<i>PowerTag Link HD</i>	Módulo de comunicação <i>Ethernet Modbus TCP/IP</i> para a medição de energia E, monitorização aprimorada da carga E, U, I, P, Pf e alarme de sobrecarga.
<i>PM3250</i>	Contador de energia para a monitorização da: potência ativa e reativa, potência aparente, corrente, tensão, energia fator de potência, frequência, distorção harmónica total de corrente THD (I) e distorção harmónica total de tensão THD (U).
<i>OF+SD24</i>	Contacto auxiliar de comunicação e falha de comunicação - indicador mecânico com interface PLC Ti24.
<i>iACT24</i>	Módulo auxiliar para comutação remota com interface PLC Ti24.
<i>PowerTag NSX 3P+N</i>	Sensor de energia sem fios com suporte de montagem no disjuntor e com capacidade de medição da: energia ativa e reativa, potência ativa e reativa, potência aparente, corrente, tensão e fator de potência.
<i>PowerTag 1542</i>	Sensor de energia sem fios com suporte de montagem no disjuntor e com capacidade de medição da: tensão, fator de potência, potência ativa, energia ativa e corrente.
<i>HeatTag</i>	Sensor inteligente com capacidade de detecção precoce do sobreaquecimento dos cabos através da análise dos gases e partículas do ar no interior do quadro.

Tabela 2. Modos de Comunicação [14]–[17]

Modos de Comunicação	Características
<i>Ethernet Modbus TCP ou Modbus TCP/IP</i>	Protocolo <i>Modbus</i> com uma interface TCP (<i>Transmission Control Protocol</i>) que se processa em <i>Ethernet</i> . A estrutura de mensagens <i>Modbus</i> é definida pelo protocolo de aplicação operando com regras para organizar e interpretar dados independentemente do meio de transmissão dos mesmos.
<i>Modbus Serial Line</i>	Protocolo <i>Master-Slave</i> , que ocorre na camada 2 do modelo OSI (<i>Open Systems Interconnection</i>). Possui um nó <i>master</i> que emite ordens explícitas para um dos nós e processos <i>slave</i> . Os <i>slaves</i> não transmitem dados sem uma solicitação do nó <i>master</i> e não se comunicam entre si.
<i>Zigbee wireless</i>	Tecnologia sem fio baseada em IEEE 802.15.4 e desenvolvida para permitir a realização redes sem fio nos domínios M2M (<i>Machine to Machine</i>) e IIoT de baixo custo e baixo consumo de energia.

2.2 Esquemas unifilares de potência e comunicações

O quadro elétrico projetado é um dispositivo equivalente a classe II, pois a instalação está protegida por um único dispositivo diferencial-residual (DR) colocado na origem da instalação, sendo esta disposta no esquema TT (Neutro à Terra), correspondente a um requisito mínimo obrigatório e em caso de defeito será colocado fora de tensão [5].

Com este projeto, foi também possível compreender as funcionalidades dos dispositivos comunicantes e das potencialidades dos aparelhos das gamas *Acti9* e *PowerLogic*.

Os *Acti9* correspondem a uma gama de sistemas modulares de baixa tensão com faculdades de ajuste a diversos modelos de aplicação, principalmente, espaços e redes poluídas, salvaguardando segurança e uma continuidade de serviço melhorada. Os *PowerLogic* são funções de controlo remoto de equipamento e a monitorização do respetivo desempenho do dispositivo e estado em tempo real, gama *Schneider Electric* [13].

Dado que se pretende realizar a monitorização e gestão de parâmetros internos ao quadro, como os valores de gás e água, por exemplo, o mesmo não apresenta consumos.

Para a realização dos esquemas recorreu-se ao software *AutoCAD*.

Para a execução do esquema unifilar de potência foram tidos em consideração três conceitos:

- Poder de Corte (Pdc);
- Corrente nominal (In);
- Índices de Proteção (IP e IK).

A Figura 1 apresenta o esquema unifilar de potência com os equipamentos presentes na lista de material.

Relativamente ao esquema unifilar de comunicações (Figura 2) foi tido em consideração o seguinte:

- tendo-se como referência a *Com'X 510*, esta detém saídas analógicas e digitais (contadores de água e gás) e duas ligações *Ethernet Modbus TCP* com a *Smartlink SI B* e a *PowerTag Link HD*;
- a *Smartlink SI B* possui uma ligação *Modbus Serial Line* com a *PM3250* e ligações com fio aos respetivos *OF+SD24* e *iACT24*;
- a *PowerTag Link HD* apresenta uma ligação *Modbus Serial Line* com a *PowerTag NSX 3P+N* e a *PowerTag 1542* e, ainda, uma ligação por *Zigbee wireless* com o *HeatTag*.

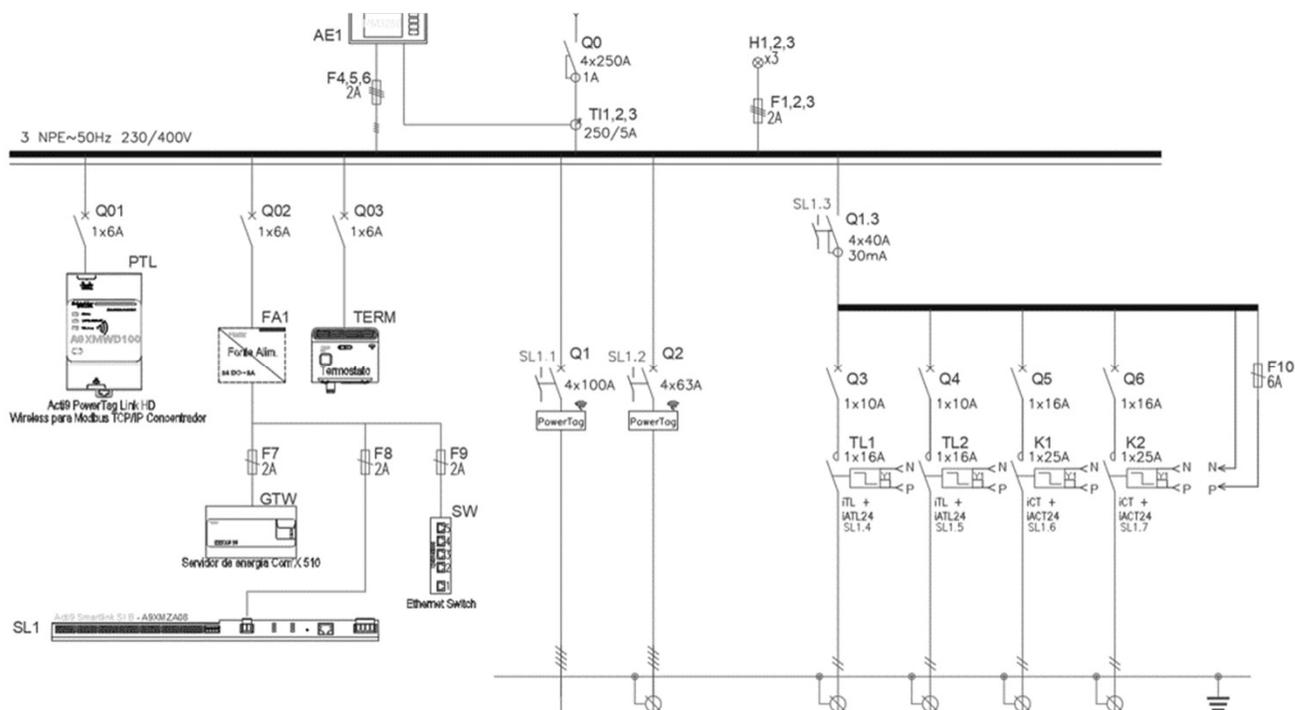


Figura 1. Esquema Unifilar de Potência

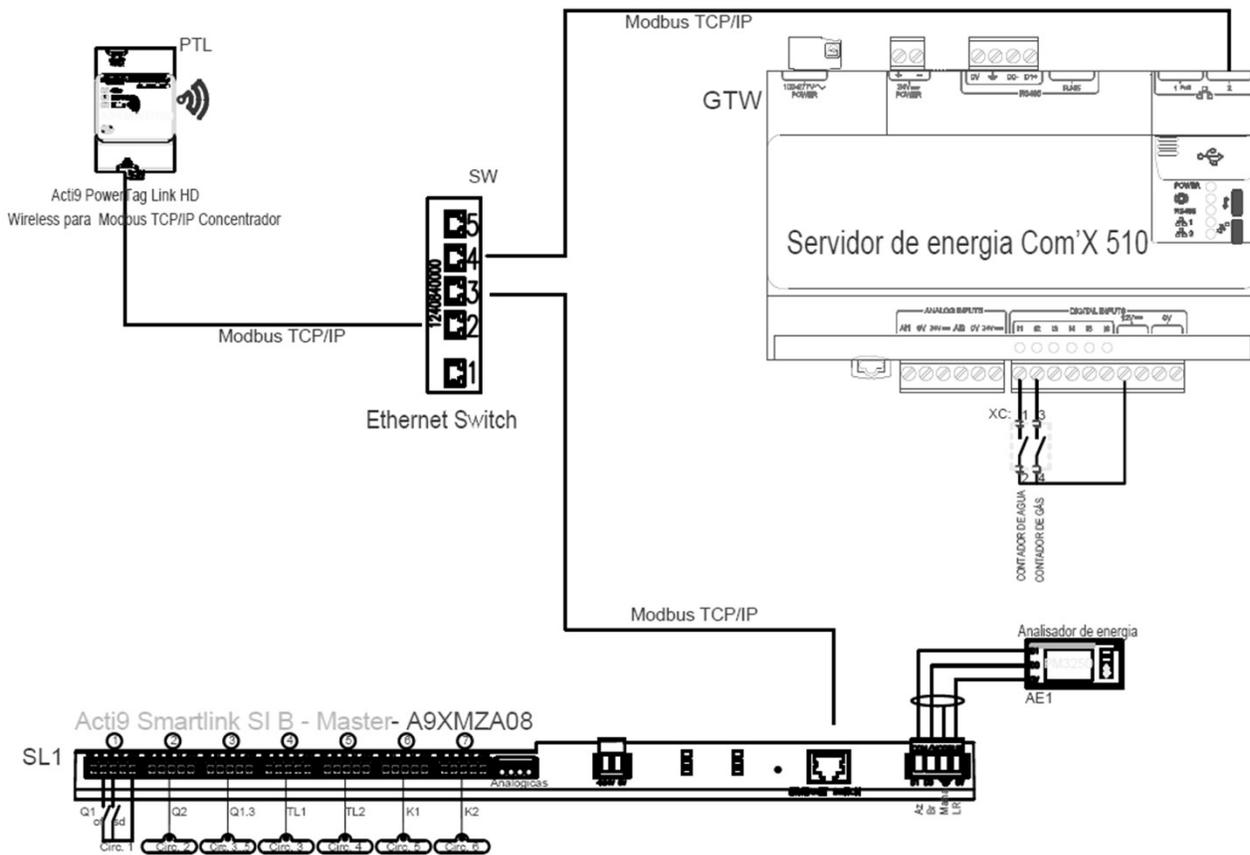


Figura 2. Esquema Unificar de Comunicações

3. Validação e configuração do Quadro Elétrico

3.1. Ensaaios

Após o processo de eletrificação, o quadro elétrico foi colocado na secção de ensaios em razão de garantir as suas facultades totais, em caso de exposição a eventuais situações adversas. O respetivo quadro elétrico foi submetido aos ensaios: de resistência de isolamento; de rigidez dielétrica - circuitos de potência e auxiliares e equipotencialidade do circuito das massas.

A execução dos ensaios foi necessária para garantir a segurança de todos os profissionais envolvidos e assegurando o nível de isolamento da totalidade da zona de ensaio através, por exemplo, de uma corrente plástica apropriada para o efeito, suspensa em suportes, com chapas de alerta de perigo. Para este procedimento, apenas o operador do equipamento permaneceu na área descrita, mantendo-se durante todo o processo sobre um tapete isolante.

Durante o tempo do ensaio o quadro elétrico esteve sem tensão e com proibição de qualquer outro elemento proceder ao contacto com a chapa do respetivo quadro.

Durante os procedimentos, foram igualmente desligados todos os terminais não concebidos para suportar as condições de ensaio como: lâmpadas, voltímetros, amperímetros, bobines de contactores, fusíveis, disparadores eletrónicos ou sinalizadores e que todos os aparelhos de proteção (disjuntores, interruptores, por exemplo). Os dispositivos foram colocados na posição de fechado (Figura 1), assim como todos os dispositivos assinalados na Figura 2.

Na Tabela 3 podemos visualizar a informação relativa ao objetivo, procedimento, duração e resultado esperado de cada um dos ensaios realizados [18].

Tabela 3. Objetivo, Procedimento, Duração e Resultado Esperado dos ensaios realizados

Objetivo	Procedimento	Duração	Resultado
Assegurar a resistência do equipamento e, portanto, garantir um nível de isolamento adequado para quadros de Baixa Tensão.	Aplicar uma tensão contínua de 500 V entre estes condutores comuns e a massa da estrutura.	15 a 30 segundos	Valor da resistência de isolamento superior a 1000 Ω/V .
Verificar a garantia do comportamento dielétrico nos materiais e aparelhagem dos quadros elétricos de Baixa Tensão.	Aplicar tensão, com o valor especificado na Tensões de ensaio da IEC 60664-1:2020, neste caso 1890 V, em função da tensão estipulada de isolamento U_i , entre todas as partes ativas interligados entre si, incluindo o neutro e a massa da estrutura.	5 segundos	Corrente de fuga deve ser inferior a 100 mA.
Averiguar que as diversas partes condutoras expostas do quadro elétrico estão ligadas de maneira eficaz ao circuito de proteção.	Com recurso de um instrumento de medição da resistência com capacidade de condução de uma corrente de no mínimo 10 A (AC ou DC), passa-se corrente entre cada parte condutora exposta e o terminal para o condutor de proteção externo.	5 segundos	Resistência medida entre o borne de entrada do condutor de proteção e a referente parte condutora exposta não deve ultrapassar 0.1 Ω .
Normas implícitas: IEC 61439-2:2020, IEC 60664-1:2020, EN 61439-1:2020			

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos nos ensaios realizados, validando o correto funcionamento do quadro. Ao conjunto de resultados, adicionaram-se as condições de temperatura e humidade relativa, para melhor percepção das

condições de ensaio e, ainda, o controlo visual de fatores associados à limpeza, proteção e documentação do respetivo quadro elétrico.

Tabela 4. Resultados dos ensaios realizados

Data : 13-06-2022		Hora : 15:21		Quadro Tipo :PrismaSeT G - EQUIV. CLASSE II					
Dimensões a x l x p (mm) : 1230*900*250									
Conformidade dos planos	X	Correntes de fuga no Ensaio de Rigidez Dielétrica (mA)			Resistência De Isolamento (GΩ)				
Funcionamento individual: - comandos - proteções - sinalizações - sequência fases nos circuitos trifásicos - apar. medida	X								
	X								
	X								
	X		N	E	S	N	E	S	
	X	1	2,25	NA	NA	1,55	NA	NA	
Funcionamento geral: - encravamentos - automatismos	X	2	1,53	NA	NA	1,75	NA	NA	
	NA	3	0,43	NA	NA	1,94	NA	NA	
Circuito de potência:- calibre - poder de corte (kA) - apertos	X	6	4	0,44	NA	NA	2,21	NA	NA
	X								
	X	5	0,35	NA	NA	3,40	NA	NA	
Restantes apertos mecânicos	X								
Circuito de terra e continuidade das massas: R < 0,1Ω	X	1-shunt entre L1,L2,L3,N e aplicar tensão entre este e massa							
Correntes diferenciais	X	2-shunt entre L1,L2,L3, massa e aplicar tensão entre este e N							
Indicação de presença de tensão	X	3- shunt entre L2,L3, massa, N e aplicar tensão entre este e L1							
Sinalização dos aparelhos	X	4- shunt entre L1,L3, massa, N e aplicar tensão entre este e L2							
Identificação das cablagens	X	5- shunt entre L1,L2, massa, N e aplicar tensão entre este e L3							
Índice de proteção	30								
Ensaio de rigidez dielétrica: 1890 V	X	Ensaio realizado nas seguintes condições: Temperatura °C: 30,3 Humidade relativa %: 31							
Ensaio da resistência de isolamento: (R ≥1MΩ/KV)	X								
Controlo Visual:- Limpeza geral - Espelhos - Obturadores - Etiquetas de trafolite - Chapa de características - Bolsa plástica/documentação	X	Observações: NA – Não aplicável Equipamento utilizado neste ensaio: EMM 02, EMM 04, EMM 05, EMM 06, EMM 07, EMM 08, EMM 09, EMM 10, EMM 11, EMM 12							
	X								
	X								
	X								
	X								
X									

3.2. Configuração dos dispositivos comunicantes

Nesta secção encontram-se as instruções necessárias à configuração dos dispositivos comunicantes [13]:

- 1) Aceder ao *software EcoStruxure Power Commission* da Schneider Electric e criar um novo projeto;
- 2) Introduzir os dispositivos obtidos com recurso a um scanner, através da leitura dos *QRcodes* associados e os aparelhos IP detetados automaticamente;
- 3) Configurar os dispositivos com fio associados à *Smartlink SI B Ethernet*;
- 4) Configurar os dispositivos sem fio associados à *Acti9 PowerTag Link HD*;
- 5) Configurar os parâmetros de Definições do sistema e Definições de Pedido da *PM3250*;
- 6) Dada a incapacidade de reconhecimento imediato do software, aceder à página *on-board* Com'X 510 e redefinir os parâmetros de segurança relacionados com os certificados (desabilitar HTTPS) e à gestão firewall (habilitar Modbus na porta Ethernet);

- 7) Verificar a presença da Com'X 510 no *EcoStruxure Power Commission* da Schneider Electric e configurar os dispositivos associados à mesma;
- 8) Retornou-se à página web da Com'X 510 e verificar que os dispositivos colocados através do software anterior se encontram igualmente disponíveis e ligados da forma pretendida, e adicionar as entradas digitais relativas aos contadores de água e gás com fichas de saídas de impulsos;
- 9) Aceder à página on-board da *Acti9 PowerTag Link HD* para aferir as propriedades do *HeatTag*.

A Figura 3 (a) reflete o processo completo de configuração da Com'X 510 visto através da sua página *on-board* e a Figura 3 (b) explicita a vista de comunicação tendo como referência a Com'X 510.

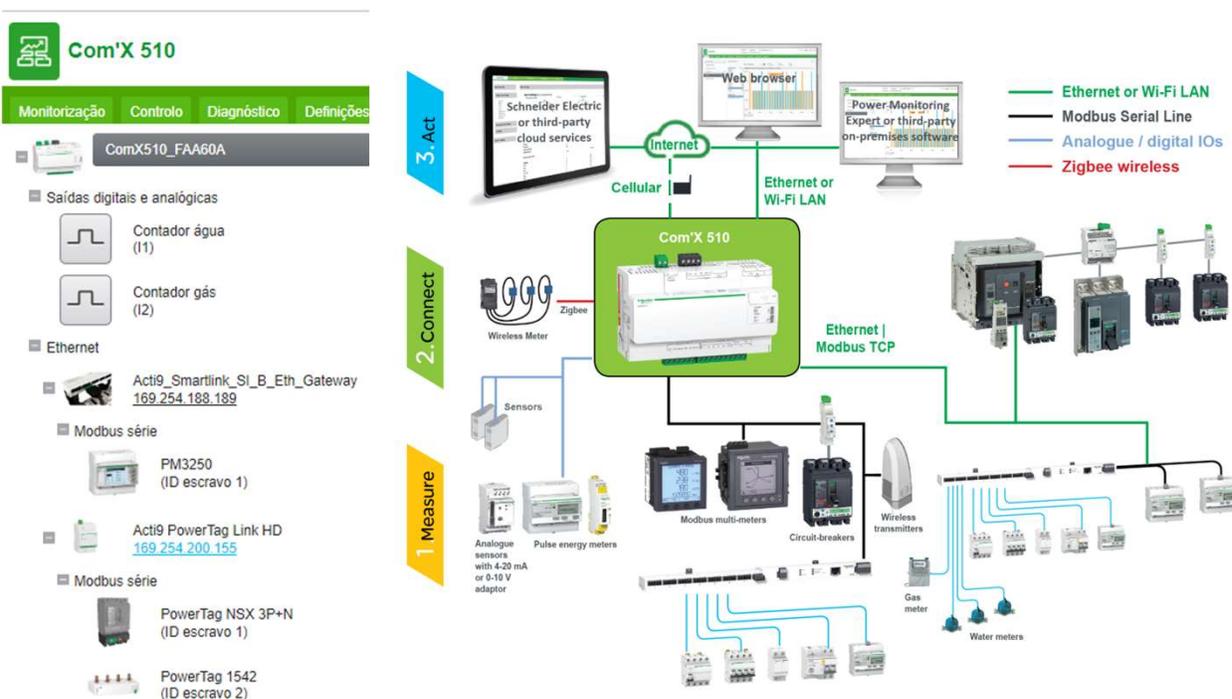


Figura 3. (a) Com'X 510 e dispositivos associados; (b) Vista de Comunicação [13]

Desta forma, foi completado o projeto do quadro elétrico comunicante e o estudo das potencialidades dos seus dispositivos comunicantes. Esta solução permitiu a execução de funções tradicionais como a verificação do estado dos dispositivos de proteção e de corte, a possibilidade de alerta em caso de sobreaquecimento dos cabos através da temperatura captada no interior do quadro elétrico, resultando numa facilidade de manutenção e perceção das condições em tempo real.

4. Conclusão

Para a concretização deste projeto foi crucial investigar e estudar a legislação e os protocolos de comunicação em vigor à data do presente artigo. O estudo do modo de utilização de todos os *softwares* envolvidos neste processo, bem como, das características dos elementos inteligentes foi imprescindível para que fossem atingidos os objetivos propostos, tais como a monitorização e controlo à distância dos parâmetros internos do referido quadro elétrico.

Em concordância, realizaram-se os esquemas unifilares de potência e de comunicação necessários para o dimensionamento do respetivo quadro elétrico.

A realização dos ensaios permitiu validar o correto processo de montagem e eletrificação do quadro que foram de acordo com os valores previstos nas normas associadas e, logo após, permitiu a configuração dos dispositivos comunicantes.

Apesar do maior investimento inicial nesta tecnologia, valor aproximadamente três vezes mais caro que a tecnologia tradicional, a solução apresentada revelou capacidades de vigilância e interação com os elementos inteligentes de proteção e medição. Este facto garante o aumento da segurança pelo controlo das cargas à distância e pela possibilidade de conhecimentos do estado de desgaste dos aparelhos elétricos e das eventuais situações de defeito atempadamente. Adicionalmente, estes fatores proporcionam uma melhor eficiência energética logo, garantindo uma solução mais ecológica.

Referências Bibliográficas

- [1] L. Pantoli et al., "Smart Multifunctional Panel for Industry 4.0," 2023, pp. 363–368.
- [2] M. L. Nunes, A. C. Pereira, and A. C. Alves, "Smart products development approaches for Industry 4.0," *Procedia Manuf.*, vol. 13, pp. 1215–1222, 2017, doi: 10.1016/j.promfg.2017.09.035.
- [3] M. Tabaa, B. Chouri, S. Saadaoui, and K. Alami, "Industrial Communication based on Modbus and Node-RED," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 130, pp. 583–588, 2018, doi: 10.1016/j.procs.2018.04.107.
- [4] Schneider Electric, "The Industrial Internet of Things: An Evolution to a Smart Manufacturing Enterprise White paper | Schneider Electric," May 2016. .
- [5] "PORTARIA N.o 949-A/2006 DE 11 DE SETEMBRO Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão. "
- [7] S. Elamanov, H. Son, B. Flynn, S. K. Yoo, N. Dilshad, and J. Song, "Interworking between Modbus and internet of things platform for industrial services," *Digit. Commun. Networks*, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.dcan.2022.09.013.
- [8] D. M. José et al., "Smart alerts: development of a software to optimize data monitoring," *Rev. Bras. Anestesiol.*, vol. 61, no. 1, pp. 76–80, Feb. 2011, doi: 10.1590/S0034-70942011000100008.
- [9] L. Carvalho and P. Vaz Schneider-Electric, "Smart Panel," *Neutro à Terra*, no. 16, Jun. 2015, doi: 10.26537/NEUTROATERRA.V016.447.
- [10] "Prismapor - Home." .
- [11] Schneider Electric, "Connect switchboards with your Building Management System for energy monitoring and control."
- [12] "Understanding Smart Machines: How They Will Shape the Future White paper | Schneider Electric."
- [13] "Schneider Electric Global | Global Specialist in Energy Management and Automation." .
- [14] ACROMAG INCORPORATED, "INTRODUCTION TO MODBUS TCP/IP," 2005.
- [15] L. Sheffield Automation, "Open Modbus/TCP Application Specific Function Block Manual," 2002.
- [16] Satcon Inverter Solutions, "Communication Interface Reference Guide Modbus TCP/IP and RS485 Communications PM00488 Revision 3," 2011.
- [17] ANDREW S. TANENBAUM and DAVID J. WETHERALL, *COMPUTER NETWORKS*, 5a Edição. PEARSON.
- [18] IPQ, "Instituto Português da Qualidade." <https://www.ipq.pt/>.