

PM

Automatização de túneis rodoviários

PROJETO DE MESTRADO

João Paulo Alves de Sousa

MESTRADO EM ENGENHARIA ELETROTÉCNICA-TELECOMUNICAÇÕES



UNIVERSIDADE da MADEIRA

A Nossa Universidade

www.uma.pt

agosto | 2019

Automatização de túneis rodoviários

PROJETO DE MESTRADO

João Paulo Alves de Sousa

MESTRADO EM ENGENHARIA ELETROTÉCNICA-TELECOMUNICAÇÕES

ORIENTAÇÃO

João Dionísio Simões Barros

CO-ORIENTAÇÃO

Ricardo José Rodrigues Paixão

Aos meus pais, irmão e namorada

“A verdadeira viagem de descobrimento não consiste em procurar novas paisagens, mas em ter novos olhos.”

Marcel Proust

Resumo

Os túneis rodoviários são uma forma de tornar o tráfego automóvel mais fácil, mas ao mesmo tempo exigem elevados padrões de segurança, daí ser importante implementar mecanismos de automação que interliguem os vários equipamentos, desde o controlo do tráfego, ventilação até à iluminação. Nesta dissertação efetua-se um estudo da regulamentação para este tipo de infraestrutura, estudam-se os diferentes tipos de ventilação, sendo aplicada ventilação longitudinal. Abordam-se os níveis de luminância nas entradas e saídas com vista reduzir a possibilidade de acidentes nessas áreas.

A utilização do PLC (*Programmable Logic Controller*) e suas diferentes linguagens de programação, constituem o modulo central desde projeto, sendo utilizadas as linguagens ladder e SCL (*Structured Control Language*). Explica-se o funcionamento dos sensores utilizados bem como os diagramas de ligação dos quadros e circuitos implementados.

A automatização do sistema baseia-se na utilização de PLCs, responsáveis pelo controlo dos equipamentos instalados no túnel, visando a otimização dos processos quotidianos e de emergência. Nesta ótica, utilizam-se diversas estações remotas ao longo dos túneis, capacitadas para a leitura e comando dos demais equipamentos de monitorização e acionamento.

Desenvolve-se um programa capaz de monitorizar e comandar os processos do: sistema de ventilação – através dos sensores de CO, visibilidade, detetor de incêndio e anemómetro; sistema de iluminação – através do luminâncímetro, do relógio astronómico e do detetor de movimento; sistema de semáforos – através da operacionalidade do túnel. A dinâmica geral de processos e ações efetuadas pode ser verificada em tempo real através do HMI (*Human Machine Interface*).

Neste projeto o sistema de ventilação atua como pretendido em situação normal e de incêndio bem como sistema de iluminação, que, nas transições, adapta os diferentes níveis de luminância. No HMI é possível visualizar o funcionamento dos sistemas, simulá-los e monitorizar o funcionamento de cada equipamento. O HMI notifica o utilizador em caso de falhas.

Palavras-chave: Automatização em túneis rodoviários, sistemas de segurança e controlo, PLC, sistema de ventilação e de iluminação, S7-1500, HMI

Abstract

Road tunnels are a way to make automotive traffic easier but they also require high safety standards. Due to that it is important to implement automation mechanisms that interconnect the various equipment, from traffic control, ventilation to lighting. In this dissertation a study of the regulations for this type of infrastructure is done, the different types of ventilation are studied and longitudinal ventilation is applied. The luminance levels at the inputs and outputs are made to reduce the possibility of accidents in these areas.

The PLC (Programmable Logic Controller) use and its different programming languages are the main subject of this project, using ladder and SCL (Structured Control Language) languages. The sensor's operation are explained as well as the connection diagrams of the implemented frames and circuits.

The system automation is based on the use of PLCs, responsible for the equipment control installed in the tunnel, aiming for the optimization of the daily and emergency processes. In this perspective, several remote stations are used along the tunnel, able to read and command the other monitoring and actuator equipment.

A program is developed capable of monitoring and controlling several processes such as: ventilation system - through CO sensors, visibility, fire detector and anemometer; lighting system - luminance sensor meter, astronomical clock and motion detector; through the general tunnel operation. The general processes and action dynamics can be verified in real time through the Human Machine Interface (HMI).

In this project the ventilation system acts as intended in both normal and fire situations as well as the lighting system that in the light transitions adapts the different levels of luminance. In the HMI it is possible to visualize the systems operation, simulate them and to monitor the operation of each equipment. It also notifies the user in case of failures.

Key words: Automation in road tunnels, Security and Control Systems, PLC, Ventilation and Lighting System, S7-1500, HMI

Agradecimentos

A presente dissertação de mestrado não poderia chegar a bom porto sem o precioso apoio de várias pessoas.

Em primeiro lugar, não posso deixar de agradecer ao meu orientador, Professor Doutor Dionísio Barros, por toda a paciência, empenho e dedicação com que sempre me orientou neste trabalho e em todo o percurso académico. Muito obrigado pelas devidas correções, quando necessário.

Agradeço à Universidade da Madeira e ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica, pela disponibilidade ao longo do meu percurso académico.

Desejo igualmente agradecer a todos os meus colegas do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Telecomunicações.

À empresa Indutora, manifesto também o meu agradecimento, por me terem recebido e colaborado em tudo o que necessitei.

Por último, mas não menos importante, agradeço à minha família e às demais pessoas que se revelaram fundamentais para o sucesso desta etapa.

Lista de abreviaturas

AOA – *Angle of arrival*

CO – Monóxido de carbono

CPI – Controlador permanente de isolamento

DB – *Data base*

DL – Decreto-Lei

DTS – *Distributed Temperature Sensing*

ET – Estação remota

FBD – *Function block diagram*

HMI – *Human machine interface*

HRR – *Heat release rates*

IL – *Instruction list*

IR – *Infrared radiation*

IT – Terra isolada

LD – *Ladder diagram*

LHD – *Linear heath detection*

OTDR – *Optical time-domain reflectometer*

PIR – *Pyroelectric infrared*

PLC – *Programmable logic controller*

PST – Posto de secção e transformação

PT – Posto de transformação

QGBT – Quadro geral de baixa tensão

SCL – *Structured control language*

ST – *Structured text*

TIsol – Transformador de isolamento

TOA – *Time of air*

UPS – *Uninterruptible power supply*

VSAP – Vapor de sódio de alta pressão

Índice

Resumo	v
Abstract.....	vi
Agradecimentos	viii
Lista de abreviaturas	ix
Índice.....	xi
Índice de figuras.....	xvi
Índice de tabelas.....	xxi
1 Introdução	1
1.1 Motivação.....	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Organização e conteúdos.....	2
2 Revisão bibliográfica	3
2.1 Regulamentação de túneis rodoviários.....	3
2.2 Sistemas de ventilação	7
2.3 Iluminação em transições	12
2.4 Automatismo	12
2.5 PLC – Controlador lógico programável.....	13
2.5.1 Utilização do PLC.....	13
2.5.2 Características do PLC	14
2.5.3 Linguagens de programação do PLC.....	14
2.6 Equipamentos e sensores utilizados na monitorização de túneis	15
2.6.1 Verificação da qualidade do ar	15
2.6.2 Sensores de visibilidade.....	16
2.6.3 Anemómetro	17

2.6.4	Luminancímetro.....	19
2.6.5	Detetor de movimento.....	19
2.6.6	Detetor de incêndio	20
2.7	Exemplo do projeto de automatização do túnel do Marão.....	22
3	Descrição do projeto	23
3.1	Caraterísticas gerais do túnel.....	24
3.2	Instalação elétrica.....	25
3.3	Iluminação.....	28
3.3.1	Iluminação exterior	28
3.3.2	Iluminação na entrada e saída do túnel	29
3.3.3	Iluminação no interior.....	31
3.4	Descrição do sistema de ventilação.....	32
3.4.1	Dados base	32
3.4.2	Estimativas de poluição	32
3.4.3	Cenário de incêndio	33
3.4.4	Descrição dos ventiladores	34
3.5	Equipamentos utilizados	34
3.5.1	Ventiladores de impulso	34
3.5.2	PLC	36
3.5.3	Sensores de CO e de visibilidade.....	37
3.5.4	Anemómetro	38
3.5.5	Deteção de incêndio – <i>linear heath detection (LHD)</i>	39
3.5.6	Luminancímetro.....	41
3.5.7	Detetor de movimento.....	41
3.5.8	Semáforo.....	42

3.5.9	Arrancador suave	42
3.5.10	Controlador permanente de isolamento	42
3.5.11	Contatos auxiliares.....	42
3.6	Controlo da ventilação	43
3.6.1	Disposição dos pontos de medida	43
3.6.2	Sistema de controlo de ventilação.....	43
3.6.3	Sistema de controlo de fumo.....	44
4	Desenvolvimento do projeto	47
4.1	Programa desenvolvido para automatizar o túnel	47
4.1.1	Retenção de alarmes	47
4.1.2	Disponibilidade de comando.....	53
4.1.3	Automatização da iluminação.....	55
4.1.3.1	Iluminação nas transições	55
4.1.3.2	Iluminação exterior e galeria	60
4.1.4	Semáforos	62
4.1.5	Automatização da ventilação	64
4.1.5.1	Leitura dos sensores e definição do <i>setpoint</i>	65
4.1.5.2	Detetor de incêndio e identificação da zona em caso de incêndio	66
4.1.5.3	Verificação de incêndio	67
4.1.5.4	Leitura do sentido e velocidade do fluxo do ar	68
4.1.5.5	Ativação do sentido da ventilação	68
4.1.5.6	Ventilação em situação de incêndio	70
4.1.5.7	Ventilação do túnel no estado normal	73
4.1.5.8	Estado final dos ventiladores	79
4.1.6	Sinalizações e HMI.....	80

4.1.7	Contadores de horas e número de operações	81
4.2	HMI	82
4.2.1	Visualização da ventilação.....	82
4.2.2	Visualização da iluminação	83
4.2.3	Visualização do número de manobra e horas de funcionamento.....	84
4.2.4	Simulação.....	86
4.2.5	Parâmetros que definem o <i>setpoint</i>	87
4.2.6	Sistema.....	88
5	Verificação experimental	89
5.1	Funcionamento geral da automatização	89
5.1.1	Verificação experimental da função disponibilidade.....	89
5.1.2	Verificação experimental do funcionamento da iluminação	90
5.1.3	Verificação experimental do funcionamento dos semáforos	91
5.1.4	Funcionamento das sinalizações	91
5.1.5	Verificação experimental do funcionamento dos contadores	92
5.2	Verificação experimental do sistema de ventilação	92
5.3	Verificação experimental do sistema de iluminação.....	96
6	Conclusões e trabalhos futuros	99
6.1	Conclusão.....	99
6.2	Trabalhos futuros.....	100
7	Referências.....	101
Anexo A	– Entradas e saídas do PLC	107
Anexo B	– Retenção de alarmes	119
Anexo C	– Disponibilidade dos equipamentos	133
Anexo D	– DB “Param_Ilum_sensors”.....	136

Anexo E	– Função “iluminação_roda”	145
Anexo F	– DB “NManobras_Hfunci”	162
Anexo G	– Sinalizações para visualização HMI.....	167
Anexo H	– Função “NManobras_HFunc”	171
Anexo I	– Menus de visualização no HMI.....	174

Índice de figuras

Figura 2.1 - Instalação dos ventiladores e funcionamento em cenário de incêndio [9].....	10
Figura 2.2 – Sistemas de ventilação [6].....	11
Figura 2.3 – Caraterização do processo de automatismo.....	13
Figura 2.4 – PLC (<i>Programmable logic controllers</i>) [19].....	14
Figura 2.5 - Exemplificação do metodo estimação da velocidade do vento usando o angulo de chegada.	18
Figura 2.6 - Modulo PIR e exemplo de aplicação.	20
Figura 2.7 - Exemplo dos componentes associados ao sistema de deteção de temperatura ao longo de um túnel.....	21
Figura 3.1 – Identificação e localização dos túneis (identificação do túnel em estudo a azul).	23
Figura 3.2 – Ilustração dos principais equipamentos instalados no túnel.....	24
Figura 3.3 – Localização do PST1.....	26
Figura 3.4 – Localização do PST2.....	26
Figura 3.5 – Esquema elétrico dos quadros do PST1 e galeria.....	27
Figura 3.6 - Esquema elétrico dos quadros do PST2.....	27
Figura 3.7 – Esquema geral do sistema de iluminação do túnel.	28
Figura 3.8 – Esquema do sistema de iluminação da rotunda alimentada pelo PST1.....	28
Figura 3.9 – Sistema de ativação de um circuito de iluminação com dois níveis.....	30
Figura 3.10 – Sistema de ativação da iluminação da galeria de emergência.	31
Figura 3.11 – Quadro geral de ventilação.....	35
Figura 3.12 – Esquema de ligação do ventilador 1.1.....	36
Figura 3.13 – Diagrama de conexões do PLC no <i>software TIA Portal</i>	37
Figura 3.14 – Esquema de ligação do sensor de CO e de visibilidade.	38
Figura 3.15 – Esquema de ligação do anemómetro.	39

Figura 3.16 – Esquema de ligação do detetor de incêndio.	40
Figura 3.17 – Representação das zonas no interior do túnel.....	40
Figura 3.18 – Esquema de ligação do luminâncímetro.....	41
Figura 3.19 – Esquema de ligação do detetor de movimento.....	42
Figura 4.1 – Fluxograma geral.....	47
Figura 4.2 – Fluxograma da função “Retenção de alarmes”.	48
Figura 4.3 – Fluxograma da identificação do estado dos equipamentos.	49
Figura 4.4 – <i>Set</i> na variável correspondente.	49
Figura 4.5 – <i>Reset</i> na variável correspondente.	50
Figura 4.6 – Fluxograma da vigilância de operação.....	50
Figura 4.7 – Função vigilância na operação.	51
Figura 4.8 – Função “Retenção de Alarmes”, vigilância na operação.....	51
Figura 4.9 – <i>Reset</i> nos alarmes.	52
Figura 4.10 – Função “Retenção de Alarmes” <i>reset</i> nos alarmes.....	53
Figura 4.11 – Fluxograma da função “Disponibilidade”.....	54
Figura 4.12 – Função “Disponibilidade de comando”, ventiladores 1.1 e 1.2.	55
Figura 4.13 – Bloco da iluminação nas transições das extremidades do túnel.....	55
Figura 4.14 – Função “Iluminacao_lado_BV” – <i>Network 1</i> , leitura do luminâncímetro e normalização.....	56
Figura 4.15 – Fluxograma da função “Iluminacao_roda”.	57
Figura 4.16 - Fluxograma da função responsável pelo reordenamento dos sistemas de iluminação por prioridades.	58
Figura 4.17 – Fluxograma da indicação dos circuitos que serão acionados segundo o nível de <i>setpoint</i>	59
Figura 4.18 - Conversão de real para inteiro para o primeiro circuito de iluminação a 50%. .	60
Figura 4.19 – Função “Iluminacao_Exterior_Galerias”.	60

Figura 4.20 – Fluxograma da função “Iluminacao_Exterior_Galerias”.	60
Figura 4.21 – Ativação da iluminação no exterior (rotundas).	61
Figura 4.22 – Temporização para ativação da iluminação na galeria segundo os detetores de movimento.	61
Figura 4.23 – Ativação dos circuitos de iluminação da galeria.	62
Figura 4.24 – Fluxograma da função “Semáforo”.	62
Figura 4.25 – Função “Semáforos”.	63
Figura 4.26 – Função “Semáforo”, ativação das diferentes cores.	63
Figura 4.27 – Fluxograma da função “Ventilação”.	64
Figura 4.28 – Fluxograma da primeira <i>network</i> da função “Ventilação”.	65
Figura 4.29 – <i>Setpoint</i> manual ou automático pelos sensores.	66
Figura 4.30 – Indicação de incêndio no túnel.	67
Figura 4.31 – Função “Comando de Sentido” para PST1.	69
Figura 4.32 – Função “Comando de Sentido” – ativação da ventilação no sentido Boaventura.	69
Figura 4.33 – Função “Comando de Sentido” – ativação da ventilação no sentido São Vicente.	70
Figura 4.34 – Fluxograma da função “Ventilacao_Incendio”.	71
Figura 4.35 – Função “Ventilacao_Incendio” – verificação do estado da ventilação.	72
Figura 4.36 – Função “Ventilacao_Incendio” – <i>Networks</i> 3, arranque e paragem da ventilação de forma a garantir uma velocidade de aproximadamente de 2 m/s.	72
Figura 4.37 – Fluxograma da função “Roda” do sistema de ventilação normal.	74
Figura 4.38 – Função “Roda” – <i>network</i> 4, exemplo de temporização de arranque dos ventiladores.	78
Figura 4.39 – Função “Tunel” – <i>Network</i> 10, comando final para ativar ou não ativar os ventiladores.	80
Figura 4.40 – <i>Main</i> – <i>Network</i> 11, Função “Sinalizadores_e_HMI”.	80

Figura 4.41 – Fluxograma das funções “Sinalizacao_Ilum_Tipo_HMI” e “Sinalizacao_VE_Tipo_HMI”.....	81
Figura 4.42 – <i>Main – Network 12</i> , função “NManobras_HFunc”.....	81
Figura 4.43 – Fluxograma da função “NManobras_HFunc”.....	82
Figura 4.44 – Menu da ventilação.....	83
Figura 4.45 – Menu da iluminação.	84
Figura 4.46 – Menu de horas de funcionamento e número de manobras.	84
Figura 4.47 – Submenu de horas de funcionamento e número de manobras dos ventiladores.	85
Figura 4.48 – Submenu de horas de funcionamento e número de manobras dos circuitos de iluminação.....	85
Figura 4.49 – Submenu de horas de funcionamento e número de manobras dos circuitos de iluminação da galeria e dos semáforos.	86
Figura 4.50 – Menu da simulação.....	86
Figura 4.51 – Menu dos parâmetros que definem o <i>setpoint</i>	87
Figura 4.52 – Submenu dos parâmetros que definem o <i>setpoint</i> da ventilação.....	87
Figura 4.53 – Submenu dos parâmetros que definem o <i>setpoint</i> da ventilação.....	88
Figura E.1 – Função “iluminacao_roda”	145
Figura G.1 – Função “Sinalizacao_Ilum_Tipo_HMI”.....	167
Figura G.2 – Função “Sinalizacao_Ilum_Tipo_HMI” – <i>Networks 1 e 2</i> , estado desligado e estado avaria, respetivamente.	167
Figura G.3 – Função “Sinalizacao_Ilum_Tipo_HMI” – <i>Networks 3 e 4</i> , circuito a 50% ligado e circuito a 100% ligado, respetivamente.	168
Figura G.4 – Função “Sinalizacao_VE_Tipo_HMI”.....	168
Figura G.5 – Função “Sinalizacao_VE_Tipo_HMI” - <i>Network 1 e 2</i> , estado desligado e estado avaria, respetivamente.....	169
Figura G.6 – Função “Sinalizacao_VE_Tipo_HMI” – <i>Network 3 e 4</i> , ventilador em arranque e ventilador ativo, respetivamente.	169

Figura G.7 – Função “Sinalizadores_e_HMI” – Network 35, sinalização da ventilação em automático.....	169
Figura G.8 – Função “Sinalizadores_e_HMI” – Networks 36, 37 e 38, avarias agrupadas. .	170
Figura H.1 – Função “Contador_NManobras_HFuncionamento”.	171
Figura H.2 – Função “Contador_NManobras_HFuncionamento” – Network 1, Contagem do número de manobras.	172
Figura H.3 – Função “Contador_NManobras_HFuncionamento” – Network 2, contagem de minutos e de horas.	173
Figura H.4 – Função “Contador_NManobras_HFuncionamento” – Network 3, soma de minutos com horas e possibilidade de <i>reset</i>	173
Figura I.1 – Menu do sistema.	174
Figura I.2 – Menu dos diagnósticos.	174

Índice de tabelas

Tabela 2.1 – Resumo informativo de requisitos mínimos de segurança [2].	4
Tabela 2.2 - Limites associados aos gases utilizados neste projeto.	8
Tabela 3.1 – Ativação dos circuitos de iluminação segundo o nível de luminância nas extremidades [55].	30
Tabela 3.2 – Velocidade crítica no túnel [55].	33
Tabela 3.3 – Cenário do túnel [55].	33
Tabela 3.4 – Combinações binárias para indicar a zona de incêndio.	40
Tabela 5.1 – Verificação experimental do sistema de ventilação do túnel em estado normal.	93
Tabela 5.2 – Verificação experimental do sistema de ventilação do túnel em estado de incêndio.	95
Tabela 5.3 – Verificação experimental do sistema de iluminação.	96
Tabela A.1 – Endereços de entrada e saída da estação remota instalada no PST1	107
Tabela A.2 – Endereços de entrada e saída da estação remota instalada no PST2	112
Tabela A.3 – Endereços de entrada e saída da estação remota instalada na galeria.	117
Tabela B.1 – Variáveis responsáveis por guardar os alarmes, DB “Alarmes”.	119
Tabela C.1 – Variáveis responsáveis por guardar a disponibilidade dos equipamentos, DB “Disponibilidade”.	133
Tabela D.1 – Variáveis utilizadas na função “iluminação_rodas”, DB “Param_Ilum_sensors”.	136
Tabela E.1 – Descrição das variáveis usadas na função “iluminacao_rodas”.	146
Tabela F.1 – DB “NManobras_Hfunci”	162

1 Introdução

Se recuarmos alguns anos no tempo, conseguimos perceber que a circulação de pessoas e mercadorias na Ilha da Madeira era feita com grandes dificuldades. O relevo da Ilha, caracteriza-se por montanhas de elevada altitude, vales profundos, declives acentuados e arribas imponentes, além das abundantes águas e das montanhas com vegetação densa. Estas características naturais dificultavam fortemente a circulação das pessoas entre diferentes locais da Madeira, desde o início do seu povoamento. Também os turistas (cujo número cresce exponencialmente, dadas as características terapêuticas do clima madeirense se tornarem cada vez mais famosas) tinham dificuldade em visitar alguns locais da Ilha [1].

Com efeito, até ao séc. XX, as vias de comunicação da Ilha da Madeira eram muito rudimentares. Torna-se perceptível a modernização ocorrida nas últimas décadas do séc. XX e nas primeiras do séc. XXI, sendo que a rede rodoviária foi profundamente modernizada na medida em que se construíram estradas, novos acessos, pontes e túneis, obras fortemente cunhadas pela engenharia portuguesa e que revolucionaram as acessibilidades do arquipélago [1].

Os túneis surgiram, portanto, para facilitar o traçado das vias rodoviárias, reduzindo declives e curvas acentuadas. Assim sendo, neste projeto desenvolve-se um sistema de automatização para o túnel pertencente ao troço rodoviário designado por Boaventura-São Vicente, almejando gerir toda uma dinâmica de automatismos capaz de otimizar a segurança e qualidade da circulação.

1.1 Motivação

Neste projeto desenvolve-se um trabalho em parceria com a empresa Indutora. Esta possui uma vasta experiência no mercado e dedica-se fundamentalmente à área de projeto, construção, instalação e apoio à colocação dos mais diversos sistemas incorporados no setor das Instalações Elétricas e Automação.

Os túneis são utilizados como forma de atravessar barreiras naturais e para a sua utilização e devido às suas restrições ambientais é necessário a implementação de normas de segurança que fazem com que a construção e manutenção do mesmo seja possível criar uma boa articulação em termos de tráfego entre os pontos de interligação. Para a implementação das normas de segurança aplica-se a sinalização e a automatização dos túneis visto que minimiza a intervenção humana nos processos do quotidiano, sendo todo o processo otimizado.

Num túnel rodoviário são utilizados diversos sistemas que precisam de estar interligados de forma que seja possível monitorizar num centro de controlo. O sistema de ventilação automatizado é utilizado para higienização e limpeza do túnel, de forma a melhorar a qualidade do ar no interior do túnel e consequentemente a visibilidade. O sistema de iluminação tem como propósito articular o trânsito e iluminar o túnel de forma a evitar acidentes devido a transição brusca de iluminação.

1.2 Objetivos

Os objetivos deste projeto que visam a automatização de túneis rodoviários são:

- Efetuar a revisão bibliográfica dos sistemas de automatização de túneis rodoviários;
- Realizar o levantamento de requisitos, assim como as especificações técnicas dos túneis a automatizar;
- Desenhar a arquitetura do sistema de automatização dos túneis rodoviários, incluindo os autómatos programáveis, sensores de monitorização, atuadores e interfaces de comunicação;
- Programar e testar, em ambiente de verificação experimental, os autómatos programáveis com a implementação do sistema de automatização de túneis rodoviários, respeitando as especificações técnicas;
- Implementar o sistema de automatização de túneis rodoviários e verificar experimentalmente o funcionamento através de testes e ensaios nos túneis rodoviários.

1.3 Organização e conteúdos

Esta dissertação está organizada em 6 capítulos, contendo o presente capítulo, a introdução do projeto, a motivação, os objetivos e a organização e conteúdos.

No segundo capítulo, revisão bibliográfica, são apresentadas as normas pelas quais teve que se reger o projeto. Dentro deste, existem seis secções distintas que abordam as regulamentações, sistemas de ventilação e de iluminação, descrição do PLC (*Programmable logic controller*), descrição dos equipamentos para monitorização de túneis e exemplo de um projeto implementado comercialmente.

No terceiro capítulo, descrição do projeto, encontra-se a exposição da implementação do projeto na infraestrutura e respetiva explicitação da aplicação em termos práticos dos equipamentos.

Seguidamente, no quarto capítulo designado por desenvolvimento do projeto, tal como o nome sugere tem uma descrição sobre o programa de automatização desenvolvido no *software TIA Portal*.

Posteriormente, no quinto capítulo designado por verificação experimental, é apresentada a dinâmica prática do funcionamento quotidiano do túnel e os resultados obtidos.

Por último, surge a conclusão e trabalhos futuros, onde as ilações finais são apresentadas bem como sugestões sobre trabalhos futuros.

2 Revisão bibliográfica

Os túneis rodoviários surgem com o intuito de facilitar o acesso a determinadas zonas e de atenuar declives acentuados. Desta forma o quotidiano das populações é facilitado e estas passam a ter acesso mais rápido a bens, serviços bem como para facilitar as práticas de lazer.

Da rede rodoviária fazem também parte os túneis e, com efeito, rapidamente se chega à conclusão que especial atenção deve ser tida em relação aos mesmos, por consequência de múltiplas situações de tensões provocadas por acidentes e trânsito, o que promove o difícil acesso aquando dos processos de evacuação e resgate. Mais se acrescenta que em caso de fecho temporário da circulação rodoviária, numa grande maioria das situações, não existem alternativas de circulação.

Posto isto, a implementação dos sistemas de segurança e controlo têm por objetivo não só a segurança rodoviária, mas também a segurança das pessoas.

Para maior compreensão de como se deve proceder à implementação, com sucesso, dos sistemas de segurança e controlo dentro em túneis, alguns conceitos, práticas e tecnologias são descritos neste projeto.

2.1 Regulamentação de túneis rodoviários

Contextualizando, uma breve descrição dos requisitos mínimos de segurança para os túneis rodoviários é apresentada nesta secção, segundo as normas estabelecidas pelo *Decreto-Lei n.º 75/2014 de 13 de maio* [2].

Neste sentido, e em concordância com o ponto 2 do *Art. 1º*, percebe-se a preocupação referente à segurança nos túneis, expressa pela seguinte citação: “*O presente decreto-lei tem por objeto a criação de requisitos que permitam assegurar um nível mínimo de segurança nos túneis da rede rodoviária transeuropeia e da rede rodoviária nacional, através da prevenção de situações críticas que possam pôr em perigo a vida humana, o meio ambiente e as instalações dos túneis.*” [2].

De seguida, para que não haja dubiedade, o decreto-lei cita a especificidade dos túneis abrangidos por estas normas, sendo expresso da seguinte forma no *Art. 2º*: “*O presente decreto-lei é aplicável a todos os túneis da rede rodoviária transeuropeia sitos no território nacional e a todos os túneis da rede rodoviária nacional com extensão superior a 500 m que se encontrem em serviço, em construção ou em fase de projeto.*” [2].

A segurança manifesta-se como uma das principais preocupações, quando se trata de infraestruturas complexas de grandes dimensões. Assim sendo e seguindo esta tendência, a definição de parâmetros de segurança é fundamental para o inteiro sucesso dos túneis, como infraestrutura de elevada complexidade [3].

Os requisitos mínimos de segurança a implementar, bem como a sinalização, podem encontrar-se respetivamente nos anexos II e IV do decreto-lei anteriormente supracitado, *Decreto-Lei n.º 75/2014 de 13 de maio*, agregados ao Artigo 4º. Desta forma o Anexo II define que “*As medidas de segurança a aplicar num túnel devem assentar numa ponderação sistémica de todos os aspetos do sistema composto pela infraestrutura, o funcionamento, os utentes e os veículos.*” [2]. Para tal, o mesmo anexo tem em conta os seguintes parâmetros fundamentais: “*Extensão do túnel; Número de galerias; Número de faixas; Geometria do perfil transversal; Perfil longitudinal e traçado em planta; Tipo de construção; Existência de tráfego num sentido ou nos dois sentidos; Volume de tráfego por galeria (e sua distribuição no tempo); Risco de congestionamento (diário ou sazonal); Tempo de acesso dos serviços de emergência; Presença e percentagem de veículos pesados de mercadorias; Presença, percentagem e tipo de tráfego de mercadorias perigosas; Características das rodovias de acesso; Largura das vias; Considerações relacionadas com a velocidade; Ambiente geográfico e meteorológico*” [2].

Numa excelente tentativa de aglomerar todos os requisitos mínimos de segurança, objetivando uma clara leitura, o *Decreto-Lei n.º 75/2014 de 13 de maio* apresenta uma tabela simples e bem estruturada com essa informação. Assim, abaixo pode ser encontrada a tabela 2.1 com os requisitos mínimos de segurança, explicitando os seguintes símbolos:

- * – obrigatório com exceções;
- – não obrigatório;
- – obrigatório para todos os túneis;
- – recomendado;

Tabela 2.1 – Resumo informativo de requisitos mínimos de segurança [2].

Parâmetros	Descrição	Pontos de referência	Tráfego ≤ 2000 veículos por via		Tráfego > 2000 veículos por via			Condições suplementares para a obrigatoriedade da implementação, ou comentários
			500 a 1000 m	> 1000 m	500 a 1000 m	1000 a 3000 m	> 3000 m	
Medidas estruturais	2 ou mais galerias	2.1						Obrigatório sempre que uma previsão a 15 anos preveja um tráfego > 10000 veículos/via.
Medidas estruturais	Declive ≤ 5 %	2.2	*	*	*	*	*	Obrigatório exceto quando for geograficamente impossível.
Medidas estruturais	Passeios de emergência para peões	2.3.1 - 2.3.2	*	*	*	*	*	Obrigatório quando não existir uma via de emergência a não ser que a condição enunciada no 2.3.1 seja respeitada. Nos túneis existentes em que não existam nem uma via de emergência nem passeios de emergência para peões deverão ser tomadas medidas adicionais/reforçadas.
Medidas estruturais	Saídas de emergência, pelo menos, todos os 500 m	2.3.3 – 2.3.9	○	○	*	*	*	A implementação das saídas de emergência nos túneis existentes deverá ser avaliada caso a caso.
Medidas estruturais	Ligações transversais para os serviços de emergência pelo menos todos os 1500 m	2.4.1	○	○ / •	○	○ / •	•	Obrigatório nos túneis de duas galerias com extensão superior a 1500 m.

Parâmetros	Descrição	Pontos de referência	Tráfego ≤ 2000 veículos por via		Tráfego > 2000 veículos por via			Condições suplementares para a obrigatoriedade da implementação, ou comentários
			500 a 1000 m	> 1000 m	500 a 1000 m	1000 a 3000 m	> 3000 m	
Medidas estruturais	Passagem do separador central fora de cada entrada	2.4.2	•	•	•	•	•	Obrigatório fora dos túneis com duas ou mais galerias sempre que seja geograficamente possível.
	Áreas de paragem de emergência pelo menos todos os 1000 m	2.5	○	○	○	○ /•	○ /•	Obrigatório nos novos túneis com dois sentidos > 1500 m sem vias de emergência. Nos túneis com dois sentidos existentes > 1500 m dependendo de uma análise. Tanto para os novos túneis como para os túneis existentes, dependendo da largura suplementar utilizável do túnel.
	Drenagem de líquidos inflamáveis e tóxicos	2.6	*	*	*	*	*	Obrigatório sempre que seja permitido o transporte de mercadorias perigosas.
	Resistência da estrutura aos incêndios	2.7	•	•	•	•	•	Obrigatório sempre que um colapso de estruturas possa ter consequências catastróficas.
Iluminação	Iluminação normal	2.8.1	•	•	•	•	•	
	Iluminação de segurança	2.8.2	•	•	•	•	•	
	Iluminação de evacuação	2.8.3	•	•	•	•	•	
Ventilação	Ventilação mecânica	2.9	○	○	○	•	•	
	Disposições especiais para ventilação (semi-) transversal	2.9.5	○	○	○	○	•	Obrigatório nos túneis com dois sentidos sempre que exista um centro de controlo.
Postos de emergência	Pelo menos de 150 em 150 m	2.10	*	*	*	*	*	Equipados com telefone e dois extintores. É autorizado um intervalo não superior a 250 m nos túneis existentes.
Alimentação de água	Pelo menos de 250 em 250 m	2.11	•	•	•	•	•	Se não disponível, obrigatório pôr à disposição água suficiente por outros meios.
Sinalização rodoviária		2.12	•	•	•	•	•	Para todas os equipamentos de segurança à disposição dos utentes dos túneis (ver Anexo IV).
Centro de controlo		2.13	○	○	○	○	•	A vigilância de vários túneis pode ser centralizada num único centro de controlo.
Sistemas de vigilância	Vídeo	2.14	○	○	○	○	•	Obrigatório quando não exista um centro de controlo.
	Deteção automática de incidentes e/ou de incêndio	2.14	•	•	•	•	•	Pelo menos um dos dois sistemas é obrigatório nos túneis com um centro de controlo.
Equipamento de encerramento do túnel	Semáforos antes das entradas	2.15.1	○	•	○	•	•	
	Semáforos no interior do túnel, pelo menos de 1000 em 1000 m	2.15.2	○	○	○	○	☀	Recomendado se existir um centro de controlo e a extensão exceder 3000 m.
Sistemas de comunicação	Retransmissão de radiodifusão para serviços de emergência	2.16.1	○	○	○	•	•	
Sistemas de comunicação	Mensagens de rádio de emergência para os utentes dos túneis	2.16.2	•	•	•	•	•	Obrigatório quando existir retransmissão de radiodifusão para os utentes dos túneis e

Parâmetros	Descrição	Pontos de referência	Tráfego ≤ 2000 veículos por via		Tráfego > 2000 veículos por via			Condições suplementares para a obrigatoriedade da implementação, ou comentários
			500 a 1000 m	> 1000 m	500 a 1000 m	1000 a 3000 m	> 3000 m	
								sempre que exista um centro de controlo.
Sistemas de comunicação	Altifalantes nos abrigos e nas saídas	2.16.3	•	•	•	•	•	Obrigatório quando os utentes a evacuar tiverem que esperar antes de chegar ao exterior.
	Alimentação de energia de emergência	2.17	•	•	•	•	•	A fim de assegurar o funcionamento do equipamento de segurança indispensável pelo menos durante a evacuação dos utentes dos túneis.
	Resistência do equipamento aos incêndios	2.18	•	•	•	•	•	A fim de manter as funções de segurança necessárias.

Considerando o ponto 3.5 também do anexo II do Art.4º, todos os túneis “*que tenham início e termo em território nacional e de outros Estados membros*” e que possuam centro de controlo, devem garantir que todas as operações são asseguradas por um único centro de controlo [2].

Relativamente à sinalização dos túneis, o anexo IV do Art.4º prevê que estes requisitos são abrangidos pela “*Convenção de Viena sobre a sinalização rodoviária de 1968, salvo indicação em contrário. A fim de facilitar a compreensão dos sinais a nível internacional, o sistema de sinais indicado no presente anexo baseia-se no uso de formas e de cores características de cada sinal e, sempre que possível, de símbolos gráficos em vez de inscrições. Sempre que se considere necessário alterar a sinalização e os símbolos indicados, as modificações não deverão alterar as suas características essenciais.*” [2].

As instalações de segurança, previstas no mesmo anexo, que carecem de sinalização são: “*Áreas de paragem de emergência; Saídas de emergência — deve ser usado o mesmo sinal para todos os tipos de saídas de emergência; Vias de evacuação — as duas saídas de emergência mais próximas devem ser assinaladas nas paredes laterais, as distâncias não superiores a 25 m e a uma altura de 1 m a 1,5 m acima do nível das vias de evacuação, com indicação das distâncias até às saídas; Postos de emergência — sinalização com indicação da presença de um telefone de emergência e de extintores de incêndio; Rádio — nos túneis onde os utentes podem receber informações através dos rádios dos seus veículos, deve ser colocada sinalização adequada à entrada informando os utentes da forma como podem receber essas informações.*” [2].

Também previsto no anexo IV está que deve haver uma descrição quer dos sinais, quer dos painéis, sendo que “*deverão ser utilizados sinais adequados, se necessário, na área de sinalização prévia, no interior e depois da saída do túnel.*” Desta forma e para que tudo esteja em conformidade “*deverão ser tidos em consideração o tráfego local e as condições de construção, bem como outras condições do local.*” [2].

Não só a sinalização por placas e figuras será decisiva num túnel para salvaguardar a sua segurança, mas também a sinalização horizontal que, novamente segundo o anexo IV do Art.4º, indica que “*As bermas devem estar assinaladas com linhas horizontais. No caso dos túneis*

com dois sentidos, devem ser colocados dispositivos claramente visíveis ao longo da linha mediana (única ou dupla) que separa as duas faixas.” Porém, quando se trata da sinalização de instalações como postos de emergência, estes deverão “ostentar sinais informativos que serão sinais F nos termos da Convenção de Viena e indicarão o equipamento à disposição dos utentes, por exemplo: Telefone de Emergência; Extintor.” [2].

Nos casos em que os postos de emergência se encontrem separados do túnel por uma porta, o anexo IV deixa claro que *“um texto claramente legível, redigido nas línguas apropriadas, deve indicar que o posto de emergência não assegura proteção em caso de incêndio. Eis um exemplo: «ESTA ÁREA NÃO GARANTE PROTEÇÃO EM CASO DE INCÊNDIO. Siga os sinais que indicam as saídas de emergência».* Neste seguimento, as áreas de paragem de emergência também deverão estar devidamente sinalizadas, de maneira que os sinais sinalizadores *“são sinais E nos termos da Convenção de Viena.”* Mais se prevê que *“Os telefones e os extintores deverão ser indicados por um painel adicional ou incorporado no próprio sinal.”* As saídas de emergência também devem estar devidamente sinalizadas e *“devem ser sinais G nos termos da Convenção de Viena.” [2].*

Em termos de entidades reguladoras e administrativas dos túneis rodoviários, o Artigo 5.º do Decreto-Lei n.º 75/2014 de 13 de Maio, clarifica que *“O Instituto da Mobilidade e dos Transportes, I. P. (IMT, I.P.), é a autoridade administrativa responsável por garantir o respeito por todos os aspetos de segurança de um túnel, cuja extensão se desenvolve na sua totalidade em território nacional.” [2].*

De acordo com o Artigo 20.º deve haver uma análise detalhada dos riscos apresentados por determinado túnel, *“a realizar por um organismo funcionalmente independente do órgão de gestão do túnel, com base numa metodologia única e detalhada, que deve ter em consideração as melhores práticas disponíveis e todos os fatores de conceção e as condições de circulação que afetem a segurança, nomeadamente os seguintes: as características do tráfego; a extensão do túnel; o tipo de tráfego; a geometria do túnel; o número de veículos pesados e de mercadorias previsto por dia.” [2].*

2.2 Sistemas de ventilação

Os túneis rodoviários têm sido usados há mais de dois séculos em todo o mundo para permitir o transporte rodoviário, contornando obstáculos naturais e humanos, como rios, cadeias de montanhas e áreas urbanas densas. Estes proporcionam tempos de viagem reduzidos e uma melhor conectividade da rede rodoviária. Acontece que devido ao seu ambiente fechado a ventilação desempenha um papel importante, pois mantém o ambiente menos poluído dentro do túnel.

Os túneis rodoviários podem ser unidirecionais, o que significa que o tráfego dentro do túnel se move apenas numa direção. Normalmente, dois túneis unidirecionais são colocados lado a lado para permitir o fluxo de tráfego bidirecional. Alternativamente, os túneis podem ser bidirecionais, o que significa que o tráfego flui em ambas as direções, sendo o espaço rodoviário considerado comum.

Os requisitos para considerar a utilização ou não utilização de um sistema de ventilação num túnel são determinados pelas emissões de gases dos veículos e os limites estabelecidos para os níveis de poluentes dentro do túnel, pela autoridade reguladora ou de homologação. Atualmente existem três tipos de ventilação sendo eles: longitudinal, transversal e semi-transversal.

Para túneis até 500 m de comprimento, o fluxo de ar natural provocado e impulsionado pelo movimento dos veículos no túnel é normalmente suficiente para gerir a qualidade do ar dentro do túnel, sendo que a ventilação forçada deixa de ser necessária. Para túneis mais longos, a ventilação forçada com recurso aos ventiladores pode ser necessária para garantir que as taxas de fluxo de ar sejam suficientes para manter a qualidade do ar dentro do túnel nos níveis exigidos por lei.

Os principais critérios de qualidade do ar, considerados no projeto de ventilação dos túneis, são monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogénio (NO₂) e visibilidade, cujos limites estão expostos na tabela 2.1 [4], [5]. Mesmo que haja outros poluentes de veículos a considerar, esses três critérios são considerados os mais importantes para a saúde e a segurança nos túneis. Ao gerir a qualidade do ar com base nesses critérios, os outros poluentes, indiretamente, deverão estar abaixo dos níveis exigidos.

Tabela 2.2 - Limites associados aos gases utilizados neste projeto.

Classificação	CO (mg/m ³)		NO ₂ (µg/m ³)		Visibilidade (m ⁻¹)	
	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
Mau	10,0	----	400	----	0,0091	0,015
Fraco	8,5	9,999	200	399	0,0071	0,009
Médio	7,0	8,499	140	199	0,0051	0,007
Bom	5,0	6,999	100	139	0,0031	0,005
Muito Bom	0	4,999	0	99	0	0,003

A quantidade de um determinado poluente que é produzido num túnel, por unidade de tempo, é estimado pelo cálculo do número total de veículos no túnel, multiplicado pela taxa de emissão de cada veículo [6].

Em termos de projeto de ventilação, o número total de veículos num túnel em qualquer momento é determinado, principalmente, pelo comprimento do túnel, pela densidade e velocidade do tráfego.

A taxa de emissão de gases poluentes dos veículos depende da velocidade, do tipo, da idade e da condição do veículo, bem como das condições de tráfego e do declive da estrada [6].

Os veículos quando circulam na estrada têm emissões de gases que são diluídos e dispersos pela atmosfera. Os túneis rodoviários caracterizam-se por serem um espaço confinado onde as emissões de gases dos veículos podem atingir níveis inaceitáveis, na ausência de um sistema de ventilação, daí ser necessário a existência de um sistema projetado para substituir os fluxos de ar naturalmente existentes.

O princípio básico da ventilação num túnel é a diluição das emissões de gases acumulados, fornecendo ar dito “fresco” e removendo o ar considerado “poluído” do túnel. O ar pode ser removido através de uma das entradas ou saídas do túnel, de uma saída de ventilação ou de uma combinação de ambos os métodos.

Na projeção de um sistema de ventilação em túneis é necessário atender a um conjunto de requisitos tais como: desempenho de qualidade do ar e segurança contra incêndios nos cenários operacionais esperados tendo em conta o comprimento e seção transversal do túnel, volumes de tráfego, entre outros [7].

Uma forma de garantir um bom escoamento do ar é otimizando a posição do ventilador, ou seja, os ventiladores de jato devem ser alinhados com o fluxo de ar ao longo do túnel, normalmente instalados perto de uma parede ou do teto do túnel (forma mais comum). Devido ao seu tamanho físico é possível colocá-los fora do espaço do tráfego. Eles ainda podem ser organizados individualmente ou em grupos de dois ou mais, com intervalos de pelo menos 50 m entre os grupos, para permitir que o ar que sai dos ventiladores atraia uma maior massa possível de ar para o fluxo [8].

2.2.1 Ventilação longitudinal

Em sistemas de ventilação longitudinais, todo o ar da ventilação entra na extremidade do túnel e é acionado por transmissão de impulso. Os ventiladores de impulso, absorvem uma parte do ar total que flui através do túnel e expõem-no a alta pressão. O mesmo pode ser observado através da Figura 2.2. É de salientar que toda a massa de ar é puxada para o exterior devido à energia cinética provocada pela rotação das hélices, fluindo para a restante corrente de ar.

Considerando um túnel inclinado, os veículos que ascendem tendem a libertar mais emissões, sendo o projeto de um sistema de ventilação longitudinal ditado pelo limite de poluição permitido dentro do túnel. A maneira mais comum de controlar a poluição do ar é garantir que o volume de ar “fresco” que entra no túnel dilua adequadamente a poluição lá existente. Este volume de ar pode ser induzido pelos veículos, sendo por vezes referido como o "efeito de pistão" (fluxo de ar provocado pelos veículos em movimento). Este método é normalmente usado em túneis de reduzida dimensão.

A ventilação longitudinal pode ser inadequada para túneis mais longos devido à necessidade de fornecer grandes quantidades de ar “fresco” para diluir as concentrações dos gases dentro do túnel. Devido à diminuição da emissão de gases por parte dos veículos mais modernos, a ventilação longitudinal atualmente consegue manter uma qualidade do ar aceitável em túneis longos e é geralmente considerada a abordagem de ventilação em túnel mais eficiente e eficaz [9].

Esta ventilação é adequada para túneis até 2 km de extensão, com tráfego em ambas as direções, embora isso se estenda até 5 km com tráfego unidirecional reduzido, que ajuda a direcionar o fluxo de ar. Geralmente, é o sistema mais económico, porque não há necessidade de edifícios ou infraestrutura de ventilação externa e os custos de operação são relativamente baixos.

Como trabalho de referência de ventilação longitudinal destaca-se um estudo efetuado que investiga o comportamento da ventilação longitudinal em caso de fogo dentro do túnel. Este estuda as implicações das “*Heat Release Rates (HRRs)*” no sistema de ventilação em túneis curtos [10].

Contudo este tipo de ventilação possui limitações práticas tais como: tamanho do sistema de ventilação, que inclui limitações de espaço; condições do vento na entrada no túnel; problemas de ruído nas leituras obtidas. Posto isto, houve uma investigação às limitações práticas deste tipo de ventilação, para os ventiladores de impulso, considerando o caso de incêndio na referência [11].

Foi estipulado um limite máximo para uma situação de incêndio e o quanto um ventilador com um determinado comprimento pode alcançar. Além deste limite pode ser necessário utilizar estratégias alternativas de controlo ou de saída de fumo, bem como uma nova avaliação de risco. O artigo também fornece algumas orientações no sentido de quais os ventiladores que devem entrar em funcionamento no caso de incêndio observado na Figura 2.1, bem como sobre o impacto dos critérios de classificação, área e ruído (através de sensores acústicos) do túnel no seu limite máximo, sendo que estas orientações são importantes a ter em conta em qualquer projeção ou idealização de um túnel [5].

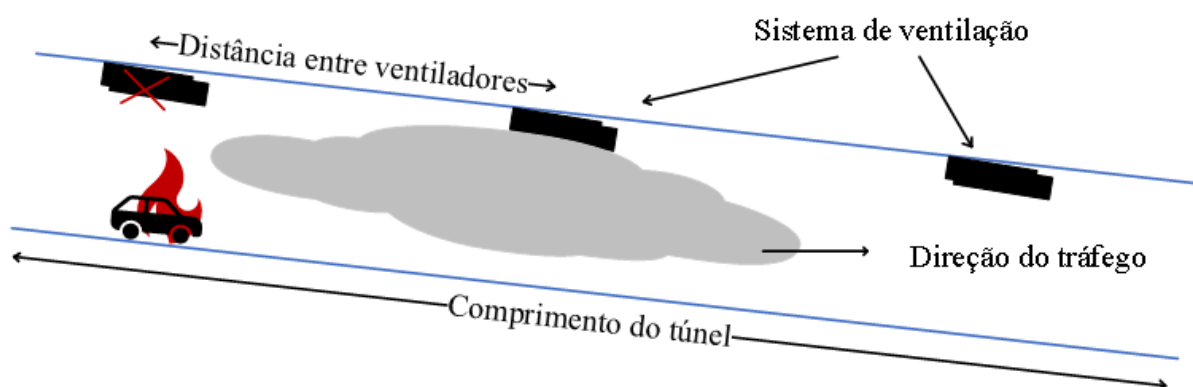


Figura 2.1 - Instalação dos ventiladores e funcionamento em cenário de incêndio [9].

Quando se realiza a projeção para túneis curtos, um dos cenários a ter em conta são principalmente, cenários de emergência, sobrepondo-se à necessidade de diluir as emissões de gases dos veículos.

O valor típico da potência calorífica para o sistema de ventilação mecânica em caso de incêndio variam entre 5 MW para carros de passageiros, 30 MW para veículos de grande porte e 100-120 MW para veículos de mercadorias perigosas, dependendo também da dimensão do túnel [11].

O objetivo fundamental da ventilação longitudinal é fornecer o fluxo de ar na direção do movimento para evitar a formação de camadas de fumo para trás, a montante do local do incêndio. Isto fornece condições sustentáveis para os veículos a montante do incêndio e um caminho de acesso para a intervenção do serviço de bombeiros [12].

2.2.2 Ventilação transversal

Na ventilação transversal, ilustrada na Figura 2.2, o ar é distribuído no túnel por intervalos ao longo do seu comprimento por grandes ventiladores axiais. O ar é normalmente introduzido através de aberturas na parede do túnel, logo acima da superfície da estrada, e removido através de dutos de exaustão na parede ou no teto, para permitir a melhor circulação de ar possível [8].

A ventilação transversal é adequada para túneis com mais de 2 km de extensão e, ao adicionar mais estações de ventilação em intervalos ao longo de todo o comprimento do túnel, ela pode ser projetada em função dos túneis mais longos ou do tráfego mais pesado porque requer mais infraestruturas, incluindo uma ou mais estações de ventilação acima do solo e dutos para distribuir o ar, em contrapartida os sistemas transversais são mais caros de construir e manter [8].

Estes sistemas são resistentes a ventos e a outras condições meteorológicas e não são afetados pelo movimento dos veículos. Isso torna-os a escolha ideal para todos os túneis rodoviários, exceto túneis unidirecionais curtos. Os sistemas de ventilação transversais podem ser monitorizados e controlados da mesma forma que as instalações longitudinais.

2.2.3 Ventilação semi-transversal

A ventilação semi-transversal, ilustrado na Figura 2.2, combina aspetos de ambos os sistemas, longitudinal e transversal, usando as entradas do túnel, bem como o fluxo de ar induzido pelo ventilador através de dutos no túnel [8].

Os custos de construção e de operação são inferiores aos de um sistema totalmente transversal e os níveis de ventilação podem ser ajustados de maneira similar às duas principais técnicas. Quando necessário, os ventiladores de impulso podem ser introduzidos para movimentar o ar entre os dutos de exaustão.

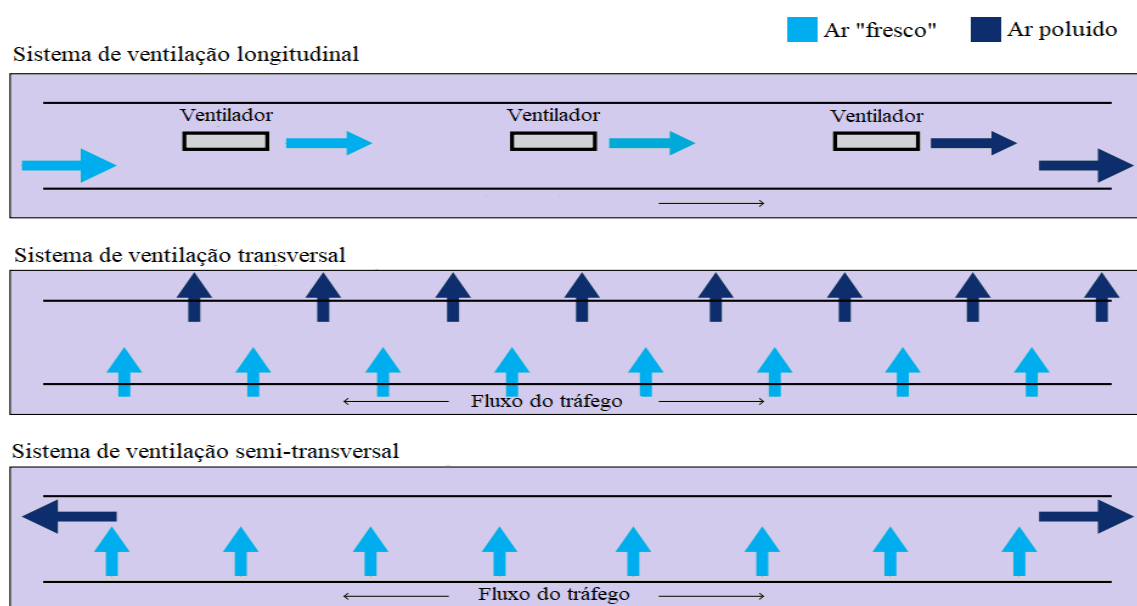


Figura 2.2 – Sistemas de ventilação [6].

2.3 Iluminação em transições

As questões de saúde e segurança associadas ao sistema de trânsito, assim como a melhoria da visibilidade para os motoristas, atraíram a atenção nos últimos anos devido às crescentes taxas de acidentes de trânsito [13]. O objetivo deste tópico é realçar alguns aspectos a ter em consideração no projeto do sistema de iluminação.

Os acidentes de trânsito em túneis são uma pequena parcela do total de acidentes rodoviários, no entanto, as perdas humanas e econômicas associadas aos acidentes em túneis são consideravelmente graves, devido à mudança de luminosidade nas entradas e saídas dos túneis. Relativamente ao abordado, fornecer boas condições visuais para os condutores que se aproximam da entrada de um túnel, é um fator crucial [14].

Os túneis podem ser divididos em diferentes áreas no que diz respeito ao planejamento da iluminação. A primeira zona é definida pelo recinto antes da entrada do túnel, seguindo-se a entrada do mesmo e o interior do túnel em si. Os níveis de luminância dessas áreas estão diretamente relacionados entre si, mais concretamente as zonas de transição nas entradas do túnel, dada a diferença de luz [14].

Um dos principais problemas associado aos túneis rodoviários é o fenómeno do “buraco negro”, que se caracteriza pelo reflexo da luz solar nas entradas e saídas dos túneis, especialmente em dias de muito sol, bem como a falta de iluminação adequada na entrada dos túneis, o que causa alguns problemas de visão, aumentando assim o risco de acidentes de trânsito [15]. Quando a entrada do túnel tem a aparência de um buraco negro pode induzir nos motoristas uma perda de confiança, ainda que inconsciente, podendo a condução ocorrer de maneira hesitante, afetando negativamente a segurança do tráfego.

Devido aos problemas associados à iluminação, na zona de transição na entrada dos túneis, e para reduzir a possibilidade de acidentes nessas áreas, a Comissão Internacional de Iluminação (CIE) desenvolveu a norma CIE 88 em 1990. De acordo com a CIE 88-1990, a quantidade de luz necessária na entrada de um túnel foi determinada com base na luminância medida num ângulo de 20° (através do luminâncímetro), campo de visão cónico, para evitar o fenómeno dos buracos negros [16]. Na versão CIE de 88, versão 2004, a luminância necessária para evitar o fenómeno do buraco negro na entrada de um túnel foi determinada com mais precisão. Esta caracteriza-se por ser uma distância na qual os motoristas podem ver qualquer obstáculo na entrada do túnel e podem ter uma reação apropriada, podendo parar em situações bruscas. Esta distância é igual à soma entre a percepção, a reação e a distância de travagem [17].

2.4 Automatismo

Os automatismos são dispositivos que permitem que um determinado sistema funcione de forma automática, simplificando consideravelmente o trabalho do utilizador, eliminando tarefas complexas ou indesejadas [18].

Um sistema automatizado é dividido em três grandes blocos:

- Entradas: Engloba todos os dispositivos que recebem informações do sistema a controlar, tais como: sensores, comutadores, etc.
- Saídas: Engloba todos os dispositivos atuadores e sinalizadores, tais como: lâmpadas, motores, válvulas, etc.
- Lógica: Onde se encontra toda a lógica programável ou não, que permite atuar nas saídas em função dos dados recebidos pelo bloco de entrada. Sendo constituído por: relés, contadores, eletrónica programada, temporizadores, etc.

A Figura 2.4 representa a interligação destes blocos bem como todo o processo desde a instalação até à ligação de todos os dispositivos exemplificando a relação entre eles.

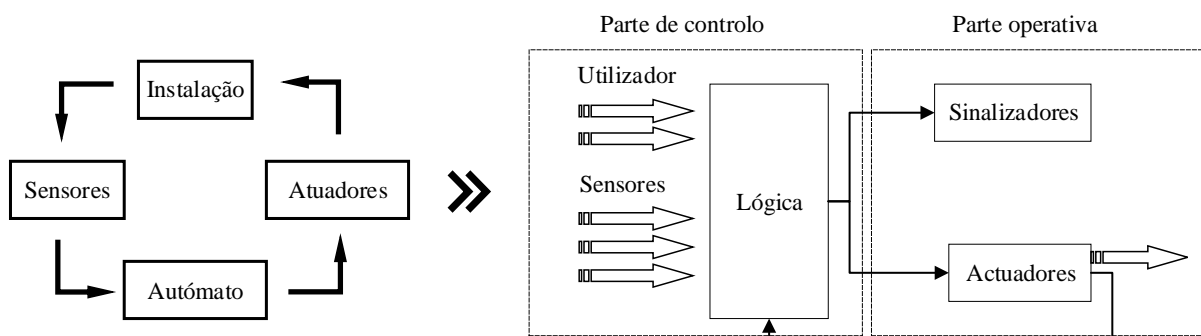


Figura 2.3 – Caracterização do processo de automatismo.

2.5 PLC – Controlador lógico programável

Um controlador lógico programável (PLC, do inglês *Programmable logic controllers*) consiste numa espécie de computador otimizado para controlar tarefas em meio industrial. Além da automatização industrial, o PLC manifesta-se também como uma solução de controlo flexível e robusta, adaptável a praticamente qualquer aplicação. Mais se acrescenta que este equipamento pode automatizar um processo específico, uma função de uma máquina ou várias funções em simultâneo, dada a sua memória programável capaz de armazenar instruções variadas. Exemplificando, o PLC pode ser usado num sistema de controlo de uma máquina de perfuração. Esse manifesta-se necessário para todo o processo: começar a baixar a broca; assim que a mesma estiver em posição começa a perfurar; logo que a broca tiver produzido a profundidade estipulada é retraída e, em seguida, desligada; espera que a próxima peça de trabalho seja colocada em posição, antes de repetir a operação novamente [19].

2.5.1 Utilização do PLC

Tal como foi referido anteriormente, o PLC é um equipamento utilizado maioritariamente em meio industrial, porém é perfeitamente adaptável a uma panóplia de outras situações. O que acontece com este equipamento é que ao invés de conectar, por meio de fios, cada circuito de controlo, para cada situação de controlo, pode ser utilizado o mesmo sistema básico para todas as situações, desde que um sistema microprocessado seja utilizado. Desta forma, é escrito um programa para instruir o microprocessador a reagir a cada sinal de entrada – como comutadores – e de saída – por exemplo os motores e válvulas [18].

Alterando as instruções no programa, é reforçada a ideia de que o mesmo sistema microprocessador pode controlar uma grande variedade de situações [19].

2.5.2 Características do PLC

Em termos de *Hardware*, normalmente, um sistema PLC possui cinco componentes básicos: unidade do processador, a memória, a fonte de alimentação, a secção de interface de entrada/saída e o dispositivo de programação (Figura 2.4Figura 2.4).

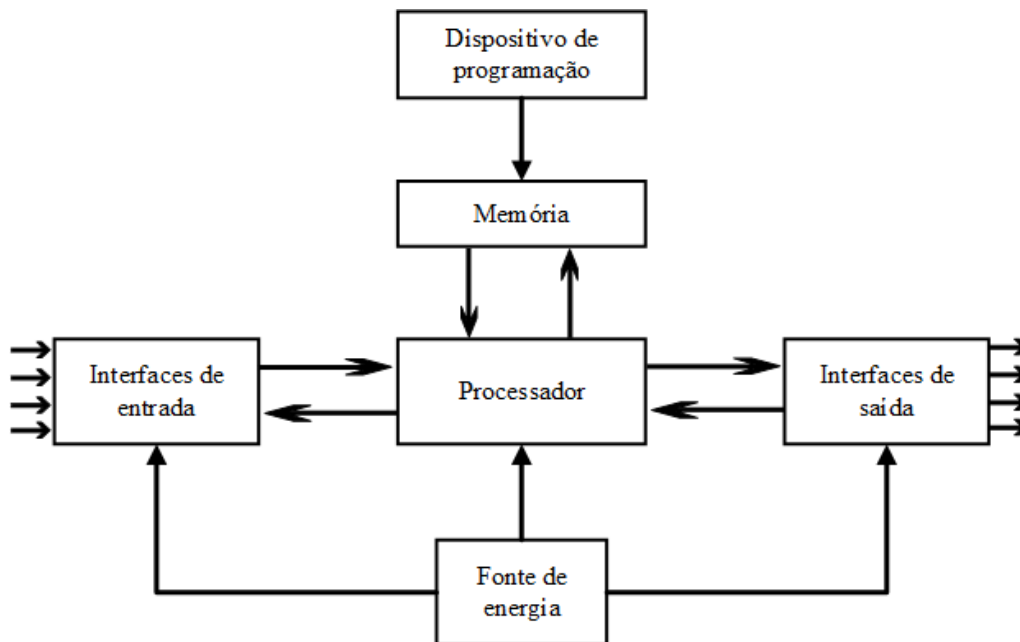


Figura 2.4 – PLC (*Programmable logic controllers*) [19].

Em termos da unidade do processador ou unidade central de processamento (CPU) esta contém o microprocessador que interpreta os sinais de entrada, realiza as ações de controlo, de acordo com o programa armazenado na memória, e comunica as decisões à interface de saída por meio de sinais de ação [18].

A fonte de alimentação é necessária para converter a tensão da rede elétrica AC para uma tensão DC mais baixa, necessária para alimentar o processador e os circuitos nos módulos de interface de entrada e saída. O dispositivo de programação é usado para inserir o programa na memória do processador. O programa é desenvolvido no dispositivo e depois transferido para a unidade de memória do PLC. Por sua vez, a unidade de memória é onde o programa é armazenado para ser usado nas ações de controlo, exercidas pelo microprocessador [19].

2.5.3 Linguagens de programação do PLC

A Norma IEC 61131-3 é uma norma definida internacionalmente que tem como objetivo padronizar as linguagens de programação de controladores lógicos programáveis na área da automatização industrial. Foi desenvolvida para atenuar pressões da indústria objetivando uma maior compatibilidade entre os PLCs e a sua programação. A norma define cinco linguagens, sendo duas delas gráficas, *Ladder Diagram* (LD) e *Function Block Diagram* (FBD), duas

textuais, *Instruction List* (IL) e *Structured Text* (ST), e uma quinta, *Sequential Function Chart* muito utilizada em programação sequencial de eventos através da definição de etapas e condições de transição entre elas.

A norma supracitada permite a utilização de diversas linguagens no mesmo programa, determina um conjunto de dados, com tipos definidos, bem como suporta estruturas complexas de dados, por exemplos *arrays*, estruturas, enumerações, entre outros [20].

Na realização de projetos destacam-se as linguagens ST e LD. Sendo ST uma linguagem de programação de alto nível muito utilizada na indústria de automatização pois permite a construção de estruturas complexas (ciclos *for*, *while*, entre outros) e a utilização de expressões complexas. Por outro lado, a linguagem *Ladder* foi a primeira a ser desenvolvida para a programação de PLCs, sendo ainda muito utilizada no desenvolvimento de programas. Algumas vantagens podem ser destacadas, como: o uso da linguagem gráfica com base em símbolos (simbologia experimental de circuitos elétricos) e a acessibilidade na interpretação e desenvolvimento. Existem, contudo, algumas desvantagens associadas a esta linguagem, como: a dificuldade em construir estruturas complexas e em construir sequências e ciclos complexos [20], [21].

2.6 Equipamentos e sensores utilizados na monitorização de túneis

Os túneis são ambientes confinados e podem ser altamente perigosos, daí que deve ser tida especial atenção a sua monitorização. Para tal efeito, são utilizados alguns equipamentos com diferentes funções que, por sua vez, estão em constante comunicação com o PLC [22].

De entre os diferentes parâmetros a monitorizar, no interior de um túnel, destacam-se: a verificação da qualidade do ar, a visibilidade, a direção e velocidade do fluxo do ar, o nível de luminância no exterior e ainda a verificação e localização de incêndios [23], [24].

Ir-se-á abordar de forma resumida, os diferentes equipamentos e sensores necessários para efetuar as monitorizações supracitadas.

2.6.1 Verificação da qualidade do ar

Os sensores desempenham um papel importante nos dias de hoje, principalmente no universo da automatização, sendo vistos como dispositivos capazes de detetar eventos ou alterações no meio ambiente tendo como principal objetivo enviar essa informação para o CPU. Hoje, sobretudo a nível industrial, os sensores revelam a sua eficácia aquando, por exemplo, na deteção de fugas de gases inodoros e altamente perigosos para a saúde – como o monóxido de carbono (CO) – procedimento esse que o ser humano não é capaz de fazer [25].

Apesar de haver diferentes tipos de sensores, destacam-se os sensores de infravermelhos (IR), muito utilizado na automatização e com diferentes áreas de atuação, como na leitura de códigos

de barras, detecção de gases e várias outras funções. Importante também é referir que os IR podem ser ativos ou passivos.

Relativamente ao princípio de funcionamento do sensor IR, para detecção de CO, este baseia-se na espectroscopia dos infravermelhos, que consiste na detecção de determinados elementos químicos, através da transmissão, absorção ou reflexão da energia radiante incidente numa amostra. Por outras palavras, as diferentes moléculas existentes nos elementos químicos, contêm espectros eletromagnéticos distintos. Com isto, geram-se comprimentos de onda infravermelhos, que por sua vez possuem as características espectrais dos elementos que se pretende detetar. Assim, é possível determinar a presença ou ausência do elemento químico, através da absorção do sinal por parte do sensor [26].

A nível industrial um equipamento de referência é o analisador *TunnelTech 202*, que utiliza tecnologia de IR para determinar a concentração de CO [27]. Este equipamento utiliza dois comprimentos de onda, um absorvente do gás que se pretende detetar e outro não absorvente de nenhum gás. Um facto importante é que estes comprimentos de onda não são absorvidos por outros constituintes atmosféricos, como vapor de água, nitrogénio e oxigénio [28].

Assim sendo, quando existe absorção, o sinal com esse comprimento de onda fica menos intenso logo que deteta monóxido de carbono, sendo que a sua intensidade varia de acordo com a quantidade existente deste mesmo gás. No recetor, aplica-se a diferença entre a intensidade do sinal de referência e o de amostra, obtendo-se assim o nível total de concentração de monóxido de carbono no ar [29].

2.6.2 Sensores de visibilidade

Um dos parâmetros também importantes a monitorizar dentro de um túnel é a visibilidade, pois se esta for reduzida pode provocar acidentes e colocar a vida humana em risco. Posto isto, é recomendado a utilização de equipamentos para monitorizar a visibilidade dentro do túnel.

O analisador *TunnelTech 202* referenciado na secção 2.6.1 não só analisa a concentração de monóxido de carbono como também avalia o nível de visibilidade dentro do túnel [27].

Com base na lei *Beer-Lambert*, o seu funcionamento consiste em emitir um feixe de luz com comprimento de onda apropriado para detetar alguma substância através da absorção da luz [26]. Na receção, o sinal é recebido e de acordo com a atenuação apresentada o equipamento fornece o nível de visibilidade. Esta lei surgiu da junção da lei de *Beer* e de *Lambert* [26].

A lei de *Lambert* estabelece uma relação entre a transmissão da luz e a espessura da camada do meio absorvente sendo enunciada da seguinte forma: “A intensidade da luz emitida decresce exponencialmente em função da distância percorrida em meio absorvente” [30]. Esta lei é espessa da seguinte forma:

$$I = I_0 * 10^{-x*l} \quad (2.1)$$

em que, I é a intensidade da luz transmitida, I_o é a intensidade da luz incidente, sendo que o x e l o coeficiente de absorção e a espessura do meio absorvente, respetivamente.

Por outro lado, a lei de *Beer* estabelece a relação entre a transmissão e a concentração do meio onde o feixe de luz atravessa, sendo caracterizada pela seguinte frase: “A intensidade de um feixe de luz é proporcional ao logaritmo da concentração do meio envolvente” [30]. Esta lei é identificada da seguinte forma:

$$I = I_o * 10^{-x*c} \quad (2.2)$$

em que a única variável que muda em comparação com a expressão 2.1 é a variável c que indica a concentração do meio absorvente [31].

2.6.3 Anemómetro

No que diz respeito ao fluxo do ar dentro do túnel, monitorizá-lo é extremamente importante. Habitualmente utiliza-se um anemómetro, mesmo no meio do túnel, com comunicação ao PLC para monitorizar a velocidade do vento.

Existem diversos tipos de anemómetros, tais como:

- Rotacional: constituídos por hélices que rodam a uma velocidade angular proporcional a do vento;
- Tubo de pressão: conjuga as diferentes pressões exercidas pelo ar, convertendo a energia cinética em energia potencial;
- Termoelétricos: determina a velocidade do ar através da troca de calor utilizando um fio quente, sendo a velocidade proporcional a quantidade de calor retirada do fio;
- Deflexão: constituído por uma chapa metálica que ao ser defletida pela força do vento traduz a sua velocidade;
- Ultrassónicos: baseia-se no movimento das partículas ar que circulam entre duas extremidades conectadas através de uma onda acústica com frequência ultrassónica.

Os anemómetros ultrassónicos combinam a rentabilidade da tecnologia ultrassónica com uma boa fiabilidade e precisão nas suas medições, ou seja, o método não é invasivo, precisa de pouca manutenção, podem ser usados em ambientes com condições extremas de pressão e temperatura sendo o erro nas medições reduzido [32], [33]. No entanto o elevado consumo de energia deste equipamento inviabiliza a sua utilização em ambientes com utilização de baterias ou painel solar, sendo geralmente utilizados em projetos com fornecimento de energia através da rede pública [34].

Existem dois métodos para determinar a velocidade do vento usando o anemómetro ultrassónico sendo eles: o tempo de voo (TOA – *Time of air*) e o ângulo de chegada (AOA – *Angle of arrival*).

O tempo de voo refere-se ao tempo de propagação que uma determinada frequência ultrassónica, por impulsos, demora do transmissor para o recetor [35]. São utilizados dois

transdutores, colocados em lados opostos. Sabendo que num intervalo de tempo o transdutor emite pulsos que são recebidos pelo outro e vice-versa. O método TOA exige que os transdutores tenham sincronização de tempo. Somente se o tempo dos transdutores for sincronizado é que a diferença de tempo entre o sinal transmitido e o sinal recebido pode ser medida [36].

A velocidade do vento medida ao longo do trajeto entre os dois transdutores, S , é uma função do comprimento do trajeto e tempos de percurso:

$$S = \frac{(L/2)}{(1/t_1 - 1/t_2)} \quad (2.3)$$

em que, L é a distância entre os dois transdutores, sendo t_1 e t_2 os tempos correspondentes de cada transdutor na emissão e recepção do sinal ultrassônico. Este método não depende de condições atmosféricas como pressão, temperatura do ar, humidade, etc [37].

Outro método normalmente utilizado na estimação da velocidade do vento é através do ângulo de chegada (AOA) [38].

O método AOA só pode ser aplicado num anemómetro bidimensional ou tridimensional, ou seja, com dois ou mais recetores. A velocidade do vento é determinada pela força do sinal recebido e a sua direção (parâmetros alterados pela presença do vento) [39].

Ao comparar a força do sinal com e sem vento bem como o ângulo do sinal recebido, a velocidade do vento pode ser obtida. A Figura 2.5 ilustra o método AOA, onde a linha contínua é o ângulo detetado quando não há vento e a linha tracejada é o ângulo quando temos a presença do vento. O comprimento da linha tracejada representa a intensidade do sinal recebido. A distância entre as duas linhas representa a velocidade do vento detetada contendo as informações da direção e velocidade.

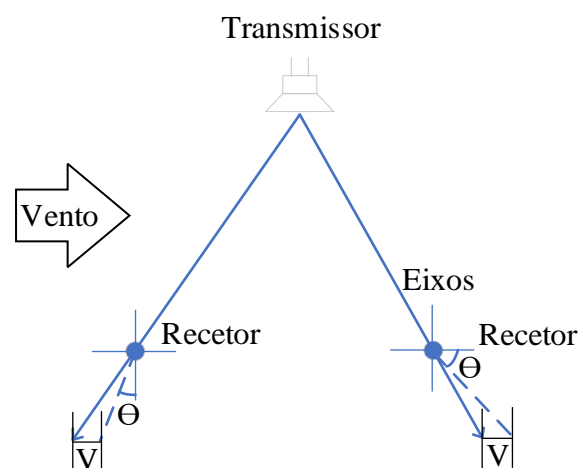


Figura 2.5 - Exemplificação do método estimação da velocidade do vento usando o ângulo de chegada.

2.6.4 Luminancímetro

O luminancímetro é um dispositivo que mede o nível de luminância. Este equipamento mede a intensidade da luz natural incidente nas extremidades do túnel.

O dispositivo usa um foto-díodo especialmente concebido para ser altamente sensível à luz, filtrando-a, para fornecer uma resposta espectral próxima à média do olho humano [40]. O sensor mede, portanto, a luminância média incidente dentro de um ângulo de visão, sendo que o ângulo recomendado é o de 20° [41].

Por definição a luminância é a razão da intensidade luminosa incidente num elemento de superfície que contém o ponto dado, área projetada ou aparente, aquela vista pelo observador. Por exemplo, quando a incidência da intensidade luminosa é normal à superfície, a área aparente é a própria área da superfície, caso contrário é proporcional ao cosseno do ângulo α [42], [43]:

$$L = \frac{dl}{dA \cdot \cos \alpha} \quad (2.4)$$

onde, L é a luminância, A é a área da superfície, α é a direção da observação e l é a intensidade luminosa.

2.6.5 Detetor de movimento

O detetor de movimento é um dispositivo que deteta objetos em movimento. Normalmente estes dispositivos estão acoplados a um sistema automatizado que realiza uma tarefa ou emite um alerta, tais como: sistema de alarme, controlo de iluminação, eficiência energética, entre outros sistemas [44].

O movimento pode ser detetado através:

- Infravermelho (sensores passivos e ativos);
- Ótico (sistema de vídeo e câmara);
- Radio frequência (radar, micro-ondas, etc)
- Som (microfones e sensores acústicos)
- Vibração (sensores sísmicos e de inércia);
- Magnetismo (sensores magnéticos e magnetómetros).

Os sensores de infravermelho passivo (PIR – *Pyroelectric infrared*, conversão da luz infravermelha em impulso elétrico) são feitos de um material cristalino que gera uma carga elétrica na sua superfície quanto é exposto a radiação infravermelha (irradiada por pessoas e animais). Por outras palavras quando a radiação é alta na sua superfície a carga elétrica também é alta, essa mesma carga é medida com um transístor FET, Figura 2.6 [45].

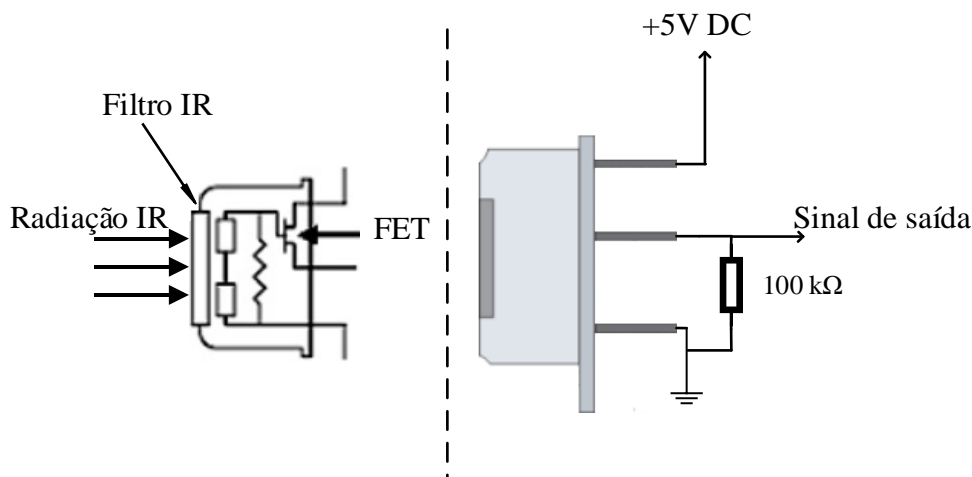


Figura 2.6 - Módulo PIR e exemplo de aplicação.

Um exemplo de configuração é apresentado, em que quando o sensor de IR deteta uma radiação alta é ativado a saída que por sua vez poderá comandar um sistema de iluminação ativado a partir de um relé.

2.6.6 Detetor de incêndio

Um dos eventos mais importantes a ter em consideração é a situação de incêndio, que por vezes ocorre com muita rapidez e propaga-se muito facilmente.

Os detetores de incêndio são dispositivos que registam, comparam e detetam automaticamente a presença de fogo, fumo, calor e chamas, sendo toda a informação transmitida para um sistema central que analisa e faz ativar os comandos necessários de acordo com a situação [46].

Por exemplo, na maioria dos casos, estes dispositivos convertem uma grandeza física ou química, numa grandeza elétrica, tensão ou corrente que posteriormente informam o sistema central através de uma alteração de corrente que passa no circuito da zona de deteção em causa [47].

A classificação dos detetores pode ser geométrica e funcional. Em termos de classificação geométrica tem-se:

- Pontuais: analisam a situação num ponto;
- Lineares: analisam a situação ao longo de uma linha continua;
- Volumétricos: analisam a situação num determinado volume;
- Multipontuais: analisam a situação na vizinhança de um número determinado de pontos.

A classificação funcional tem em conta a capacidade de reação a uma determinada situação de fogo, podendo ser identificados pela capacidade de medir e analisar a presença de:

- Gases de combustão;
- Fumos visíveis;

- Chamas;
- Elevação rápida da temperatura;
- Aerossóis de combustão.

Atualmente, existem sistemas de detecção de calor através da fibra ótica que permitem obter uma melhor precisão do local onde está o incêndio bem como monitorizá-lo ao longo do túnel. Este tipo de detetores são de fácil de instalação, flexíveis, menos sensíveis a influências externas e apresentam baixo consumo de potência.

Na Figura 2.7 é possível visualizar a constituição de um sistema de detecção de calor linear usando fibra ótica. O sensor de temperatura distribuído (DTS - *Distributed Temperature Sensing*) injeta na fibra de detecção uma série de impulsos de pouca duração e à medida que estes se propagam ao longo da fibra, uma pequena quantidade de luz é retrodifundida na direção da fonte. Uma pequena quantidade dessa luz refletida é espalhada pelo processo de Raman que é dependente da temperatura, assim a luz de Raman pode ser registada como uma função tempo, podendo assim ser calculada a temperatura em todos os pontos ao longo da fibra [48], [49].

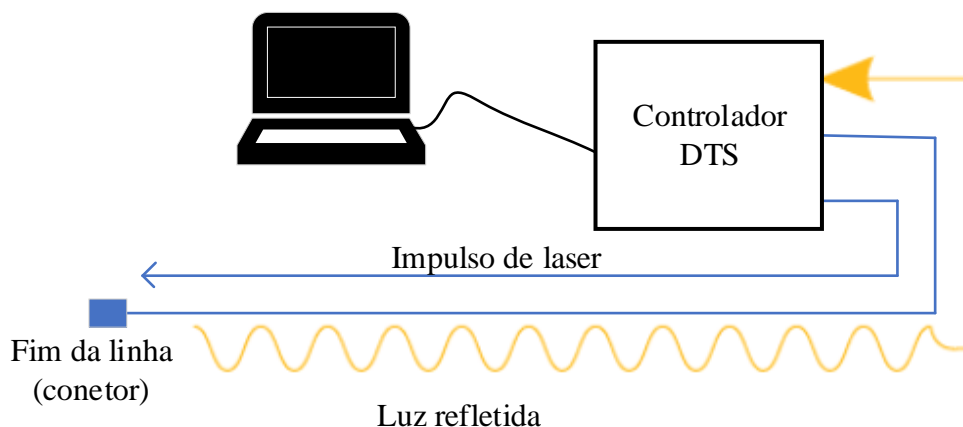


Figura 2.7 - Exemplo dos componentes associados ao sistema de detecção de temperatura ao longo de um túnel.

De forma a monitorizar os incêndios a nível industrial utiliza-se um sistema de detecção de calor linear de fibra ótica da companhia *Lios Technology* [50]. Este equipamento *Lios De. Tect Linear Heat Detection*, funciona com base no efeito *Raman* da mecânica quântica (a luz é vista como um fóton que atinge a molécula e se dispersa inelasticamente, sendo o número de fótons dispersos proporcional ao tamanho da ligação, por exemplo em moléculas com grandes ligações, estas dispersam mais fótons do que moléculas com pequenas ligações como a água) e num processo de medição com o *Optical Time-Domain Reflectometer* (OTDR), dispositivo utilizado para certificação e localização de prováveis anomalias na fibra ótica, que consiste em enviar um impulso de luz para a fibra e medir a potência que é refletida ao longo do tempo [51], [52] e [53].

Este sensor industrial é distribuído numa fibra longitudinalmente para monitorizar todo o comprimento do túnel. Indicando assim, em tempo real, a distribuição da temperatura e a propagação de incêndio em toda a área de monitorização.

2.7 Exemplo do projeto de automatização do túnel do Marão

No túnel do Marão, a implementação dos sistemas de automatização engloba um conjunto de controladores e de redes para transmissão de dados. Na mesma rede estão abrangidos os autómatos programáveis (não redundantes) alojados em armários técnicos de todos os postos SOS interiores ao túnel, os quais realizam a *interface* física de ligação aos dispositivos e equipamentos de campo, bem como algumas funções de automatismo local [54].

As funções de controlo mais importantes são os algoritmos: de ventilação corrente das galerias rodoviárias; de iluminação diurna; de reforço e de desenfumagem em caso de incêndio. Estes algoritmos estão a cargo das unidades de controlo principais. Associados ao sistema de automação existem os recursos de supervisão que incluem a *human machine interface* (HMI) para os operadores realizarem a monitorização de estado e a aplicação de comandos, e um sistema de informação para a gestão de alarmes e o registo e acesso a dados [54].

Outra função igualmente essencial a sistemas de segurança e que está a cargo da automação é a deteção e diagnóstico de falhas, que é feita através da monitorização de estados e comportamentos dos equipamentos e subsistemas. Mesmo não sendo possível garantir uma cobertura plena de todos os modos de falha, o sistema de deteção de falhas permite melhorar a segurança do túnel. À deteção de falhas segue-se a emissão de alarmes para os operadores e, subsequentemente, para o pessoal de manutenção, através da supervisão. Em alguns casos de falha, é feito o lançamento automático de modos de operação, com ou sem assistência humana [54].

3 Descrição do projeto

Neste capítulo descreve-se o projeto desenvolvido, ao nível da infraestrutura elétrica, da iluminação, da ventilação e dos sistemas de segurança e controlo do troço rodoviário designado por Boaventura – São Vicente. A infraestrutura ilustrada na Figura 3.1 é constituída pelos seguintes elementos:

- Possui quatro rotundas;
- 4 túneis;
- Galerias de emergência dentro de cada túnel [55];



Figura 3.1 – Identificação e localização dos túneis (identificação do túnel em estudo a azul).

Uma vez que os túneis, em termos de implementação dos sistemas de segurança e controlo, foram feitos de forma individualizada, cada túnel contém um posto de controlo que, no seu interior, possui um PLC e um HMI. Por essa razão, o projeto de automatização é feito para um túnel apenas, assumindo que o procedimento de implementação é semelhante para os restantes túneis, excetuando algumas diferenças relacionadas com as particularidades de cada túnel.

O foco principal deste projeto é a automatização do túnel assinalado na Figura 3.1, sobre o qual será feita uma descrição da infraestrutura elétrica, da iluminação, da ventilação e também dos sistemas de segurança e controlo.

Preconizando uma vez mais a importância dos túneis no troço rodoviário, toda a infraestrutura foi projetada tendo em conta vários fatores, que se associam ao espaço confinado, na medida em que, aquando de situações de acidente ou de incêndio, diversas dificuldades podem ser encontradas no resgate ou evacuação de pessoas e, por essa razão, toda a infraestrutura do túnel tem que estar preparada para dar uma resposta competente, sempre que necessário. Posto isto, neste projeto são apresentados conceitos e tecnologias que visam otimizar os processos e garantir os requisitos mínimos de segurança e controlo, contribuindo para a segurança rodoviária dos utentes [55].

3.1 Características gerais do túnel

O troço da Via Expresso, alvo de estudo, liga a freguesia de Boaventura a São Vicente e apresenta um comprimento total de 7,5 km, dos quais 1085 metros representam a extensão do túnel em estudo. A partir da entrada e dentro deste, há uma galeria de emergência à distância de 560 m no sentido Boaventura - São Vicente.

Genericamente, para as infraestruturas deste tipo, uma planificação da arquitetura é desenvolvida para que a implementação do projeto seja o mais exata e pertinente possível. Na Figura 3.2 mostra-se uma maquete do projeto que engloba a localização dos equipamentos instalados no exterior e no interior do túnel.

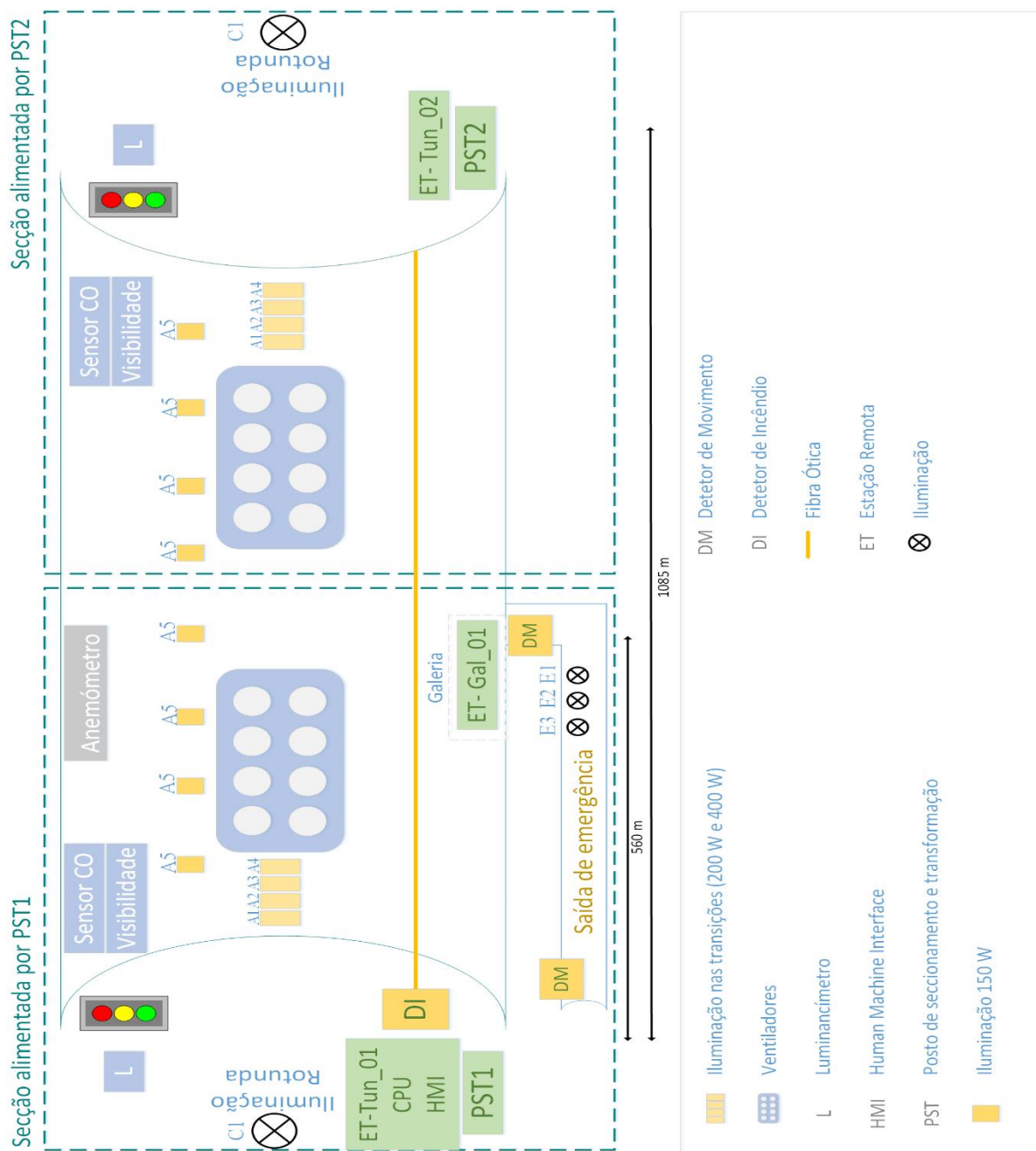


Figura 3.2 – Ilustração dos principais equipamentos instalados no túnel.

Assim, para a infraestrutura elétrica do túnel, são tidos em consideração os seguintes pontos [55]:

- Alimentação de energia em média tensão e postos de secção e transformação;
- Redes de distribuição de energia em baixa tensão;
- Iluminação nas rotundas a céu aberto;
- Iluminação ambiente no túnel e na galeria de emergência;
- Iluminação de segurança na galeria de emergência;
- Ventilação;
- Equipamentos de medida no interior do túnel (medidores de concentração de CO, de visibilidade e medidor de velocidade e direção do fluxo do ar);
- Sistemas de segurança e controlo através de estações remotas comandadas pelo CPU.

Analisando o dimensionamento do sistema de segurança e controlo, a quantidade de equipamento a instalar no túnel, depende dos seguintes parâmetros [55]:

- Comprimento do túnel;
- Número de faixas;
- Geometria da secção transversal;
- Tipo de construção;
- Tráfego unidirecional ou bidirecional;
- Volume de tráfego;
- Risco de congestão (diária ou periódica);
- Tempo de acesso dos serviços de emergência;
- Presença e percentagem de veículos pesados;
- Presença, percentagem e tipo de tráfego de mercadorias perigosas;
- Características das vias de acesso;
- Velocidade máxima autorizada;
- Meio geográfico e climatologia.

Com base nos parâmetros supracitados, é necessário seleccionar os equipamentos para a realização de toda a instalação, sendo que os mesmos estão presentes na Figura 3.2 são apresentados na secção 3.5.

3.2 Instalação elétrica

As instalações elétricas do referido túnel, são alimentadas em baixa tensão, proveniente da rede pública, sendo que o túnel contém dois postos de secção e transformação designados por PST1, Figura 3.5, e PST2, Figura 3.6. O PST1 encontra-se instalado na zona a nascente do túnel, Figura 3.3, e o PST2 na zona oposta, a poente do túnel, Figura 3.4.

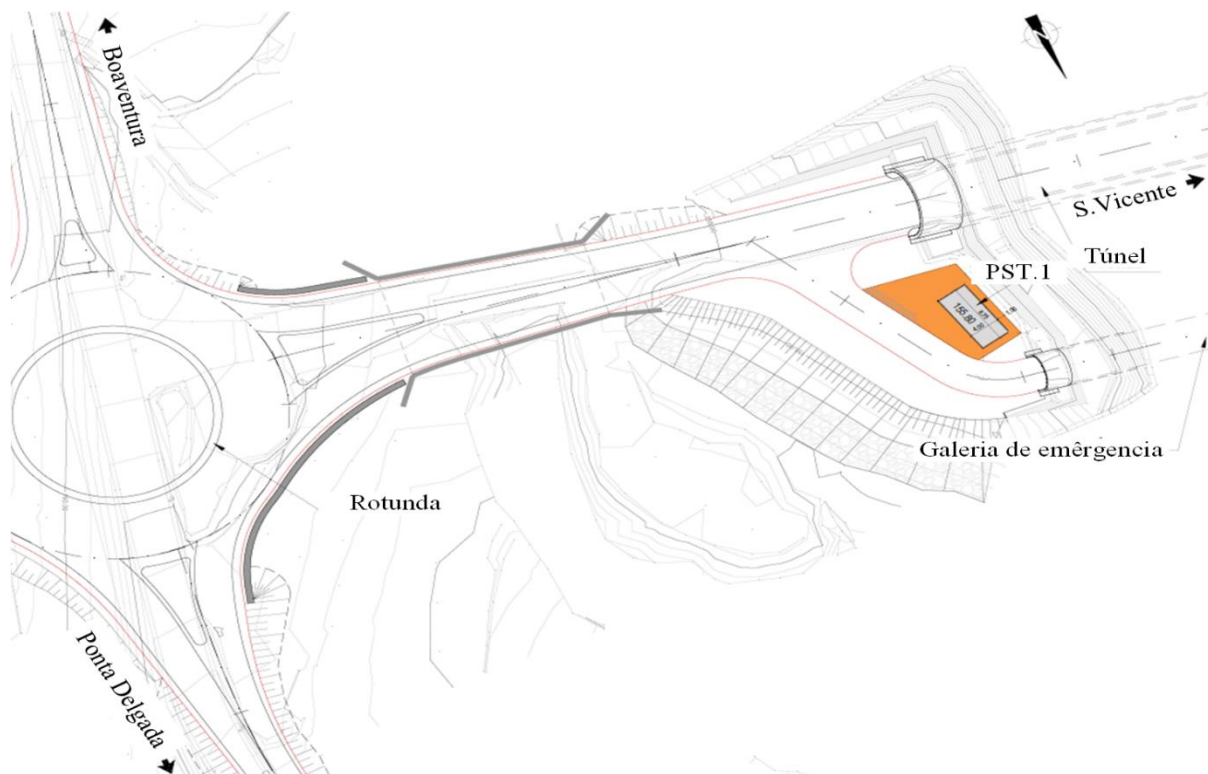


Figura 3.3 – Localização do PST1.

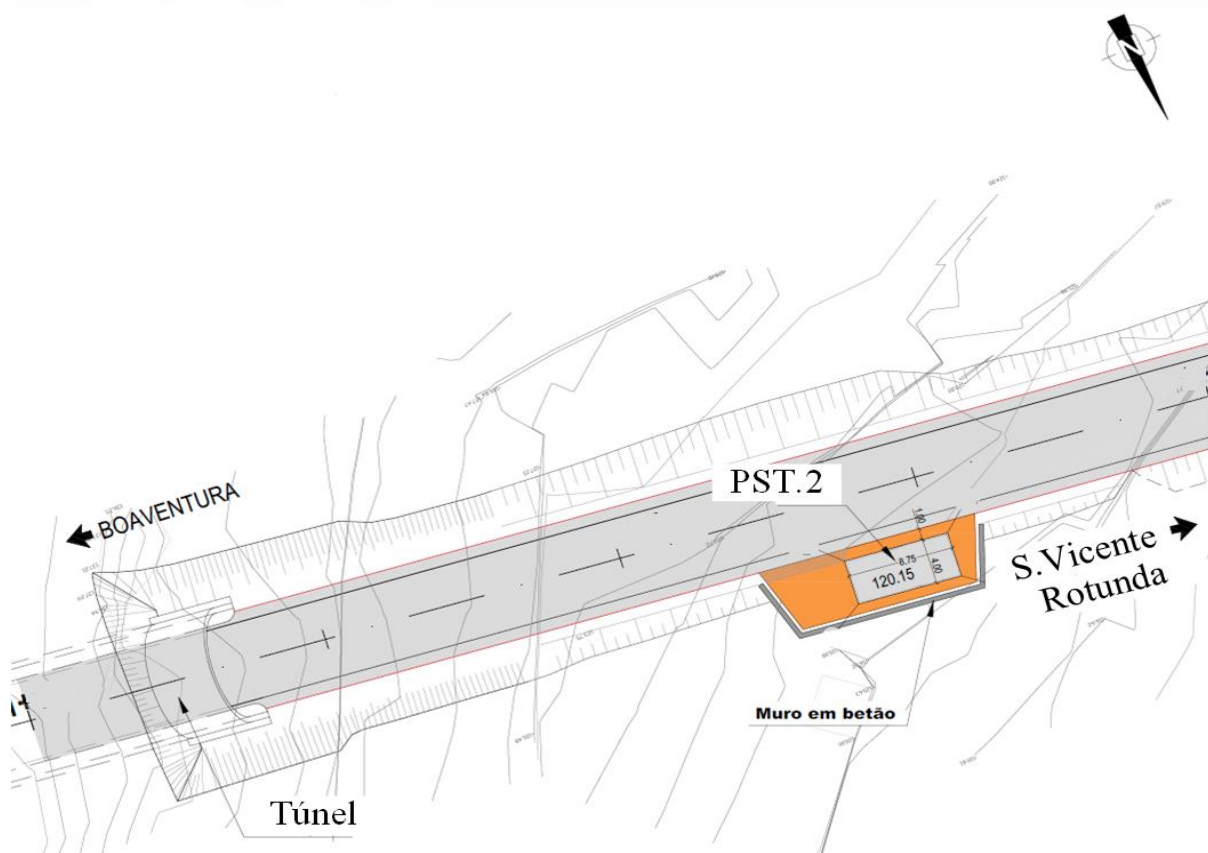


Figura 3.4 – Localização do PST2.

Assim sendo, a instalação associada ao PST1 tem como objetivo alimentar as instalações elétricas no portal nascente do túnel, isto é, visa alimentar a iluminação da rotunda, vias de acesso à rotunda e metade do interior do respetivo túnel, na zona nascente. O PST2 destina-se a alimentar a outra metade interior do túnel, na zona poente.

O edifício de cada posto de secção e transformação é composto por duas áreas distintas, com acessos separados, sendo uma destinada à instalação dos equipamentos do posto de secção e transformação e outra composta por um quadro geral, transformador de isolamento, quadro de ventilação, quadro geral UPS, bastidor e o quadro de automação. Mais se acrescenta que esta área é ainda destinada à implementação do centro dos sistemas de segurança e controlo.

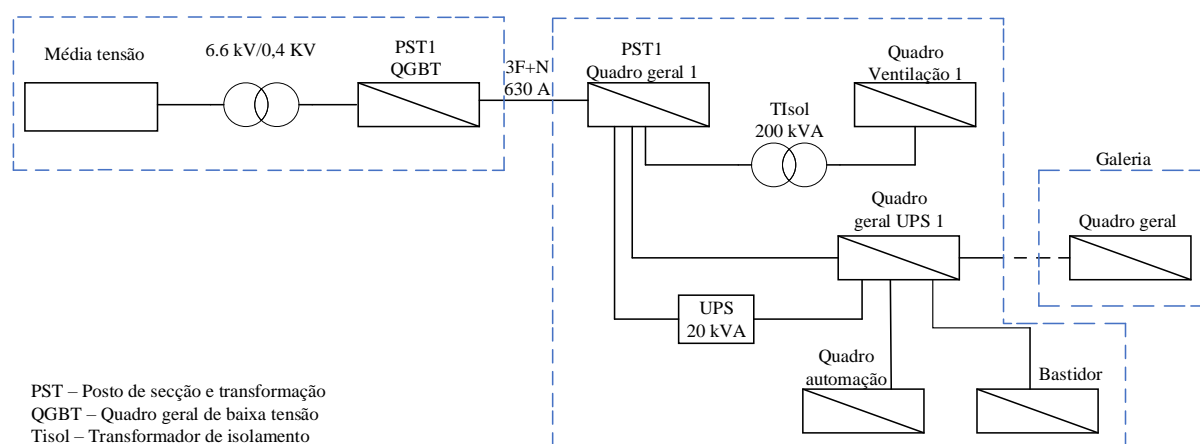


Figura 3.5 – Esquema elétrico dos quadros do PST1 e galeria.

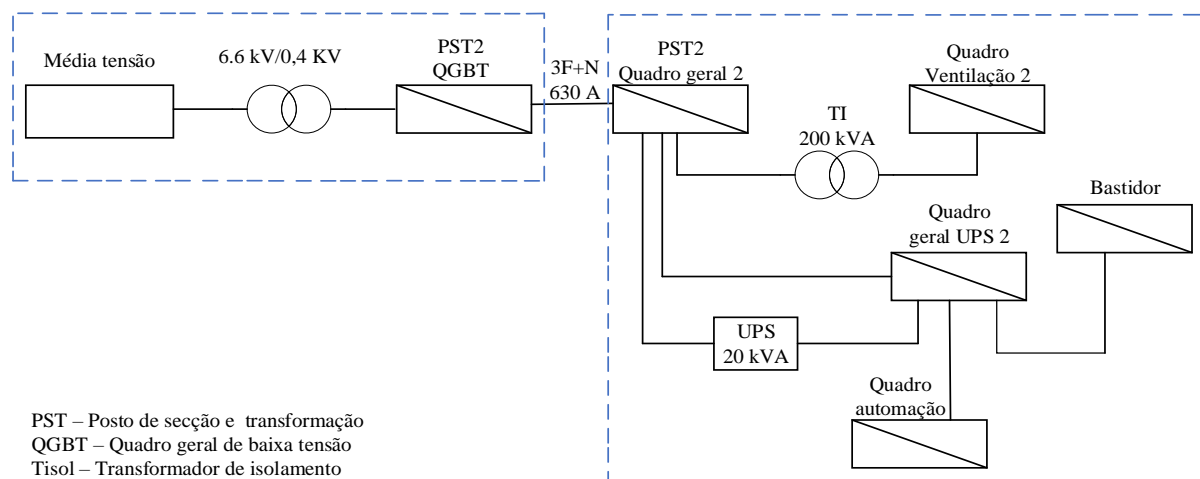


Figura 3.6 - Esquema elétrico dos quadros do PST2.

Como forma de garantir os serviços mínimos, em situações de falha de energia, foram instaladas fontes de alimentação ininterruptas (UPS – *Uninterruptible power supply*), que garantem a operacionalidade da iluminação de emergência, dos equipamentos de segurança e de controlo e iluminação da galeria de emergência. Houve também uma preocupação relativamente às proteções contra contatos indiretos de equipamentos dos serviços de segurança, que não devem atuar ao primeiro defeito e, por essa razão, foi aplicada a alimentação em esquema de terra isolada (IT).

3.3 Iluminação

Nesta secção descrevem-se os circuitos de iluminação exterior e interior do túnel, representado na Figura 3.7, sendo que este se aplica ao PST1 e ao PST2.

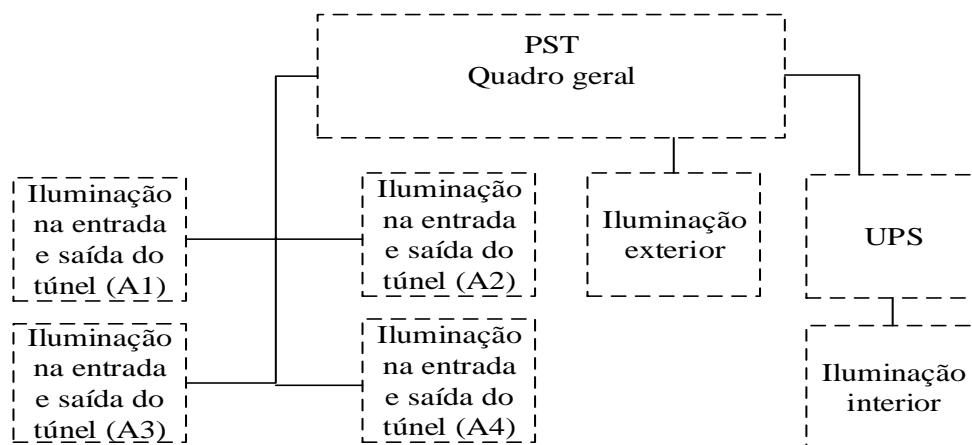


Figura 3.7 – Esquema geral do sistema de iluminação do túnel.

3.3.1 Iluminação exterior

As iluminações viárias a céu aberto, nomeadamente nas rotundas de acesso ao túnel, são alimentadas pelo quadro geral do PST. Na Figura 3.8 está representado o esquema de ligação elétrica responsável pelo sistema de iluminação nas rotundas.

O princípio de funcionamento deste esquema consiste em automatizar o sistema de iluminação das rotundas se o interruptor estiver no estado automático. O contacto auxiliar do disjuntor diferencial e do contactor comunicam o seu estado atual (ON/OFF), ao PLC e este indica quando deve ativar a iluminação da rotunda. A ativação da iluminação também pode ser efetuada de forma manual.

Relativamente a este sistema de iluminação, considerou-se um nível médio de iluminação da via de aproximadamente 40 cd/m² [55].

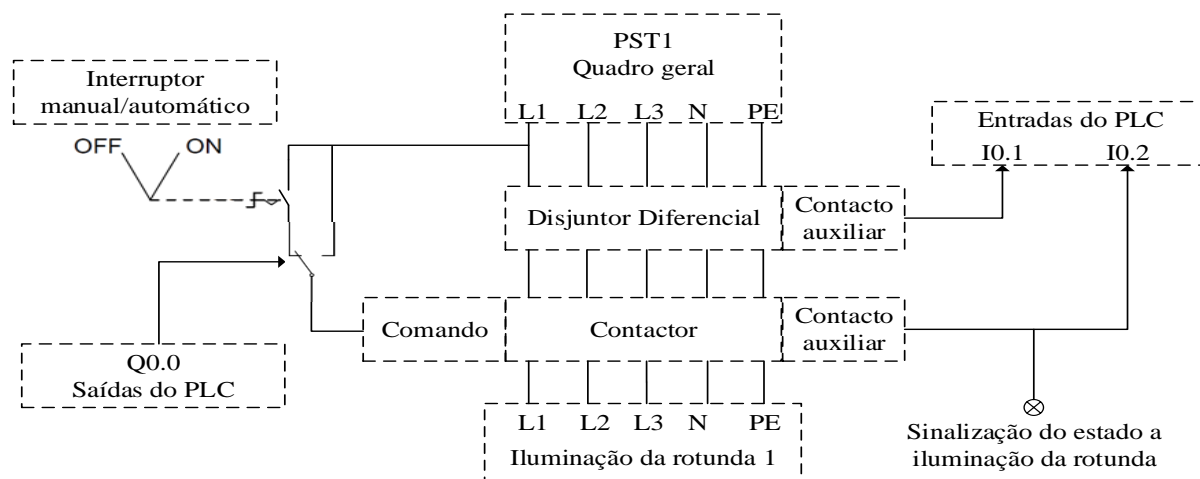


Figura 3.8 – Esquema do sistema de iluminação da rotunda alimentada pelo PST1.

O mesmo se aplica à rotunda 2 alimentada pelo PST2. Relativamente às variáveis utilizadas nas entradas e saídas do PLC podem ser consultadas no Anexo A.

3.3.2 Iluminação na entrada e saída do túnel

No acesso ao túnel e à saída, é comum haver discrepância entre a iluminação artificial e a natural e, nesse seguimento, é necessário fazer uma adaptação da iluminação para aumentar a segurança e qualidade de condução dos condutores, eliminando as alterações bruscas e, por conseguinte, evitando eventuais acidentes.

A iluminação nas transições é composta por lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão (VSAP) de 150 W, 200 W e 400 W, dispostos em montagem axial (eixo do túnel na iluminação de regime noturno; eixo da via de entrada na iluminação de regimes diurnos), permitindo diferentes níveis de luminância ao longo do túnel e garantido quatro níveis de luminosidade diurna – dias muito claros, dias claros, dias pouco claros e dias escuros – e um nível em regime noturno [55].

As características dos projetores instalados são:

- Projetores com lâmpadas de VSAP de 150 W, utilizados para obter o regime de funcionamento noturno e os regimes de funcionamento diurno em algumas zonas de transição;
- Projetores com lâmpadas de VSAP reguláveis com 200 W e 400 W, possuindo dois níveis de luminância 50 e 100 %, respetivamente sendo utilizados para obter os regimes de funcionamento diurno em algumas zonas de transição;
- Projetores são monofásicos.

Na Figura 3.9 está representado o esquema ligação entre os diferentes dispositivos que permitem automatizar o sistema de iluminação nas transições. Este esquema é referente apenas a um circuito A1, aplicando-se aos circuitos A2, A3 e A4 com outras variáveis de interação com o PLC que podem ser consultadas no Anexo A.

O comando dos circuitos A1, A2, A3 e A4 é comum a todo o sistema de iluminação instalado numa extremidade do túnel, permitindo colocar o sistema de adaptação visual em modo manual ou automático. Neste último modo, o PLC é responsável por receber informação e comandar os diferentes dispositivos presentes no esquemático de forma a controlar/ativar os dois níveis de luminosidade de cada circuito.

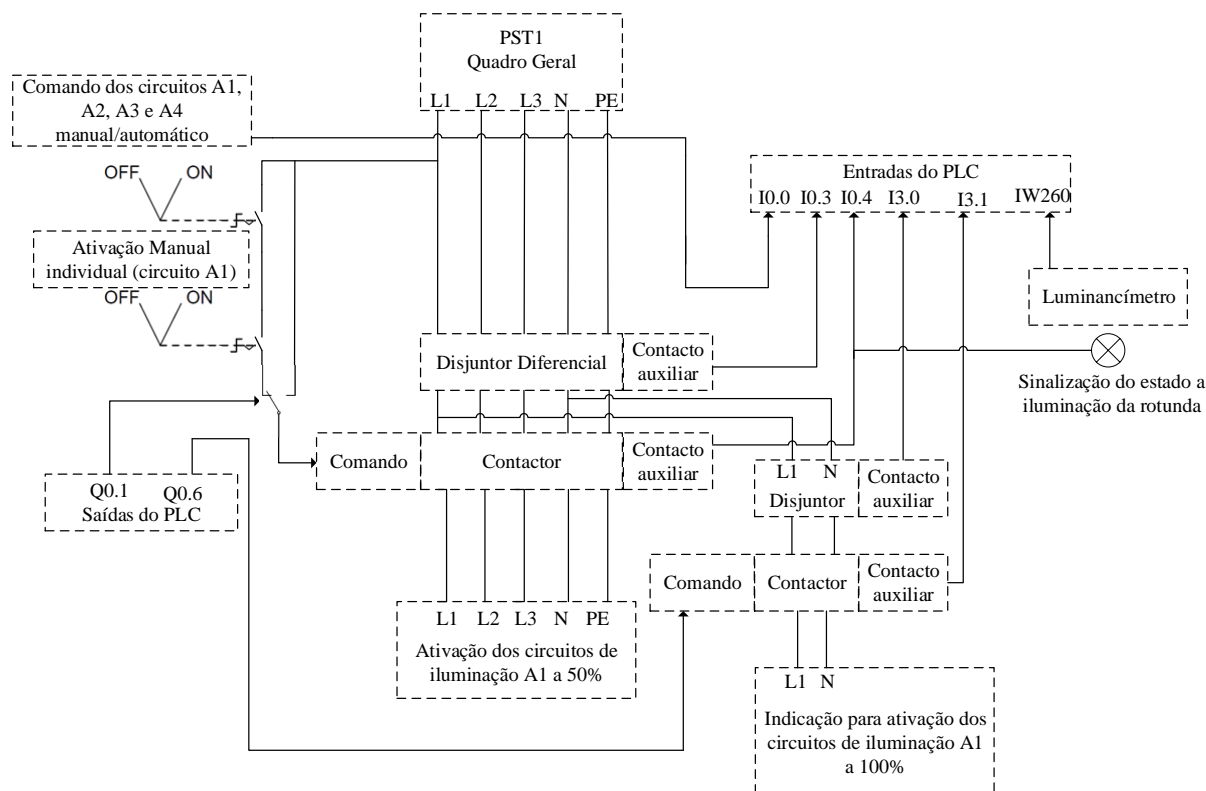


Figura 3.9 – Sistema de ativação de um circuito de iluminação com dois níveis.

Tendo em conta a extensão do túnel, o controlo da luminância é feito de forma independente para cada uma das entradas do túnel, através de dois luminâncímetros, a instalar nas extremidades do mesmo, Figura 3.2. Estes correspondem a um intervalo de 0 a 10000 cd/m² [55].

A Tabela 3.1 indica, segundo os intervalos de luminância, quantos circuitos de 200 W e de 400 W são acionados nas zonas de transição.

Tabela 3.1 – Ativação dos circuitos de iluminação segundo o nível de luminância nas extremidades [55].

Intervalos de luminância (cd/m ²)	Ativação de circuitos na zona de transição	
	Nº de circuitos de 200 W (50 %)	Nº de circuitos de 400 W (100 %)
0 a 40	0	0
41 a 750	2	0
751 a 1500	4	0
1501 a 3000	4	2
Superior a 3000	4	4

3.3.3 Iluminação no interior

A iluminação no interior do túnel contempla os nichos de emergência que estão permanentemente ligados, a iluminação ao longo do túnel com lâmpadas de 150 W, a iluminação da galeria e as luminárias de emergência.

Uma vez considerada a instalação de UPSs, todos estes circuitos estão alimentados através do quadro geral UPS 1 associado ao PST1 e através do quadro geral UPS 2, destinando-se a evitar que o túnel fique sem iluminação em caso de falha de energia, garantindo também a alimentação da iluminação de emergência.

Os postos SOS estão localizados no interior de nichos de emergência criados para o efeito. Estes nichos consistem em compartimentos criados nas paredes dos túneis com espaçamento entre eles de aproximadamente 125 m.

Para a sinalização das zonas de fuga pedonais são utilizadas luminárias equipadas com lâmpadas fluorescentes, sendo a sua localização adaptada ao percurso de fuga.

Em relação à iluminação da galeria de emergência, existem três circuitos de iluminação na galeria (E1, E2 e E3): um está constantemente ligado, se estiver disponível e os outros dois funcionam como redundante um do outro. São utilizadas luminárias modelo MY.1 da *Schröder*, ou outro modelo equivalente, equipadas com *Kit* de emergência de 90 minutos de autonomia, estanques, com IP67 e lâmpada fluorescente T8 (Ø 26mm) de 36 W. Esta iluminação atua automaticamente por deteção de movimento ou por deteção do sistema de alarme de incêndio [55].

Apresenta-se na Figura 3.10, o esquema de ligação e ativação do circuito de iluminação de galeria de emergência. Como existem dois detetores de movimento, um em cada extremidade da galeria de emergência, este esquema corresponde ao início da galeria no interior. Desta forma o esquema também server para a outra extremidade, apenas alteram-se as variáveis de interação com o PLC e podem ser consultadas no Anexo A.

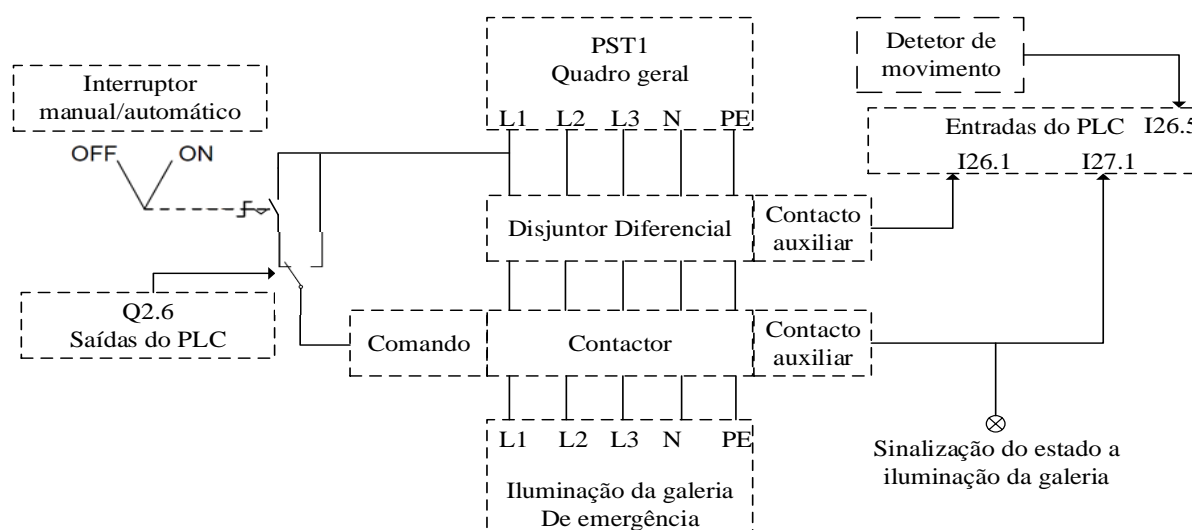


Figura 3.10 – Sistema de ativação da iluminação da galeria de emergência.

3.4 Descrição do sistema de ventilação

3.4.1 Dados base

O túnel apresenta um comprimento de 1085 m com uma pendente média de 2,5% referente ao desnível, sendo que a galeria apresenta duas pendentes distintas: ao longo de 900 m, do lado do portal de maior cota, a pendente média é de 2,7%, valor que sobe para 4,5% nos 200 m do lado do portal inferior [55].

Relativamente ao tráfego, consideram-se os seguintes dados diários, aproximados [55]:

- Tráfego 3260 veículos;
- Considerados 8% de pesados e 92% de ligeiros;
- Repartição de ligeiros: 20% a diesel e 80% a gasolina.

Tendo em consideração o troço rodoviário e as dimensões do túnel, a monitorização dos gases tem de ser feita utilizando diferentes níveis. Deste modo, as emissões de CO, NOx e partículas possuem três situações: 0, 10 e 60 km/h, correspondentes a situações de engarrafamento total, tráfego lento e tráfego fluido, respetivamente. Importante será referir que há baixa probabilidade do túnel estar em exagerado grau de saturação, devido à sua localização geográfica, porém é importante avaliar esse cenário, prudentemente [55].

A condição limite de incêndio considerada no projeto é: potência calorífica máxima libertada (*Heat Release Rates* – HRR) de 30 MW (25% de componente radiativa). Este valor corresponde tipicamente a um incêndio não controlado de um pesado, sem carga “perigosa” ainda que inflamável (autocarro: 16 – 20 MW; automóvel: 3 – 4 MW; monovolume/carrinha: 8 – 10 MW; camião tanque: 100 MW) [55].

3.4.2 Estimativas de poluição

Relativamente aos níveis máximos de poluição suportados pelo túnel, o controlo de CO em ambiente de saturação e em tráfego lento é estimado em 60 m³/s. Pesa ainda o facto do parque automóvel da Região Autónoma da Madeira poder ser, em média, mais velho (e menos controlado) que a média nacional, daí um aumento da segurança [55].

A velocidade média estimada para garantir a ventilação no túnel do troço Boaventura - São Vicente é assim de 1,0 m/s [55].

Uma vez que esta velocidade média é claramente inferior à velocidade crítica imposta em situação de incêndio, secção 3.4.3, a solução a adotar para a desenfumagem (ventilação longitudinal) garantirá sempre a ventilação quer higiénica (CO) quer de segurança (visibilidade), do túnel [55].

Segundo a memória descritiva, dispensa-se o controlo de poluição de NOx, pois atendendo às normas EURO II, IV e V percebe-se que a redução obrigatória da emissão de NOx encontra-

se proporcional ao estabelecido para CO. Assim, ainda que haja um agravamento da concentração de NO_x, é possível continuar a garantir a qualidade do ar no interior do túnel, a partir das concentrações de CO [55].

3.4.3 Cenário de incêndio

De acordo com o projeto, para uma potência máxima de 30 MW libertada durante um incêndio, estima-se a velocidade crítica para evitar o “*back-layering*” dos fumos.

A Tabela 3.2 apresenta a velocidade crítica e o seu respetivo caudal.

Tabela 3.2 – Velocidade critica no túnel [55].

Túnel	Potência calorífica máxima libertada de 30 MW	
	Ascendente	Descendente
Velocidade crítica (m/s)	2,05	2,40
Caudal (m ³ /s)	120	140

Estes valores são importantes para que a qualidade do ar no interior do túnel (concentração de CO) se mantenha dentro dos mínimos recomendados.

Segundo a memória descritiva, em caso de um incêndio de 30 MW, foram estudadas duas condições para escoamento do fumo (consultar Tabela 3.3): a primeira consiste em escoar o fumo nos dois sentidos e a segunda no sentido ascendente [55]. Sendo que o impulso efetivo (I_{ef}) e o impulso instantâneo (I_{inst}) representam a força produzida pela soma dos pares de ventiladores.

Tabela 3.3 – Cenário do túnel [55].

Cenários	I_{ef} (N)	I_{inst} (N)	Nº ventiladores (800 N)	Pares de ventiladores
2 sentidos	9900	15600	20 (+2)	11
Ascendente	6600	10300	14 (+2)	8

Tendo em atenção ambas as situações, aplica-se a situação de escoamento do fumo no sentido ascendente, sendo que o valor do impulso global é muito mais baixo, visível na Tabela 3.3. Outra razão prende-se com o facto de, sem qualquer reforço adicional do sistema de ventilação e em caso de incêndio ultrapassar os valores do projeto, os fumos serão lançados sempre em sentido ascendente [55].

3.4.4 Descrição dos ventiladores

O sistema de ventilação adotado neste túnel é o sistema de ventilação longitudinal. Para a sua implementação utilizam-se os ventiladores de impulso. Estes ventiladores são reversíveis (com apenas uma velocidade), e possuem um diâmetro nominal de 1000 mm. São dotados de motores elétricos de potência não superior a 20 kW, são facilmente desacopláveis dos rotores, são também dotados de silenciadores e deflectores de 800 N de impulso unitário (admissível uma variação da ordem de $\pm 5\%$) e, por fim, têm características de resistência à corrosão adequadas ao uso em ambiente específico da Ilha da Madeira, ambiente muito húmido [55].

Os ventiladores são montados aos pares, centrados na secção reta e suspensos no teto, com afastamento entre ambos de 1,5 de diâmetro.

A ocorrência de um incêndio na zona de um par de ventiladores pode provocar a destruição do próprio par, o seu acionamento deve ser considerado pelo menos na fase inicial do incêndio. Com isto, e de acordo com as quantidades resultantes da aplicação direta dos processos de cálculo de projeto, deve acrescentar-se mais um par, como indicado na Tabela 3.3.

Uma vez que a ventilação no túnel é feita no sentido ascendente, é considerado que em caso de evacuação, esta deve ser direcionada sempre no sentido descendente. Com isto os fumos são lançados no sentido ascendente, beneficiando a componente térmica. As escalas de tempo e a implementação de ação automática, em caso de deteção de incêndio, justificam a opção por esta solução [55].

Por outro lado, e diferente da situação supracitada, em funcionamento normal justifica-se a escolha de ventiladores reversíveis pois, com o uso de um anemómetro capaz de identificar a velocidade juntamente com a direção do fluxo do ar, há uma otimização dos processos de ventilação, em termos de eficiência e de consumos de energia. Com esta otimização e com a deteção da concentração de gases acima dos limites estipulados, a ventilação inicia-se seguindo o sentido do fluxo do ar.

3.5 Equipamentos utilizados

Nesta secção apresentam-se os equipamentos utilizados e sua comunicação com o PLC para implementação dos sistemas de segurança e controlo do troço rodoviário designado Boaventura – São Vicente, mais concretamente do controlo do sistema de ventilação.

Descreve-se também a sua localização de instalação e com o apoio da Figura 3.2 consegue-se uma melhor perceção.

3.5.1 Ventiladores de impulso

Apresenta-se na Figura 3.11 o esquema geral de ligação dos ventiladores alimentados pelo PST1. Relativamente ao quadro de ventilador do PST2, segue o mesmo modelo, sendo que as

variáveis de interação com o PLC são diferentes visto que existe outro comando de sentido para os restantes oito ventiladores e podem ser consultadas no Anexo A.

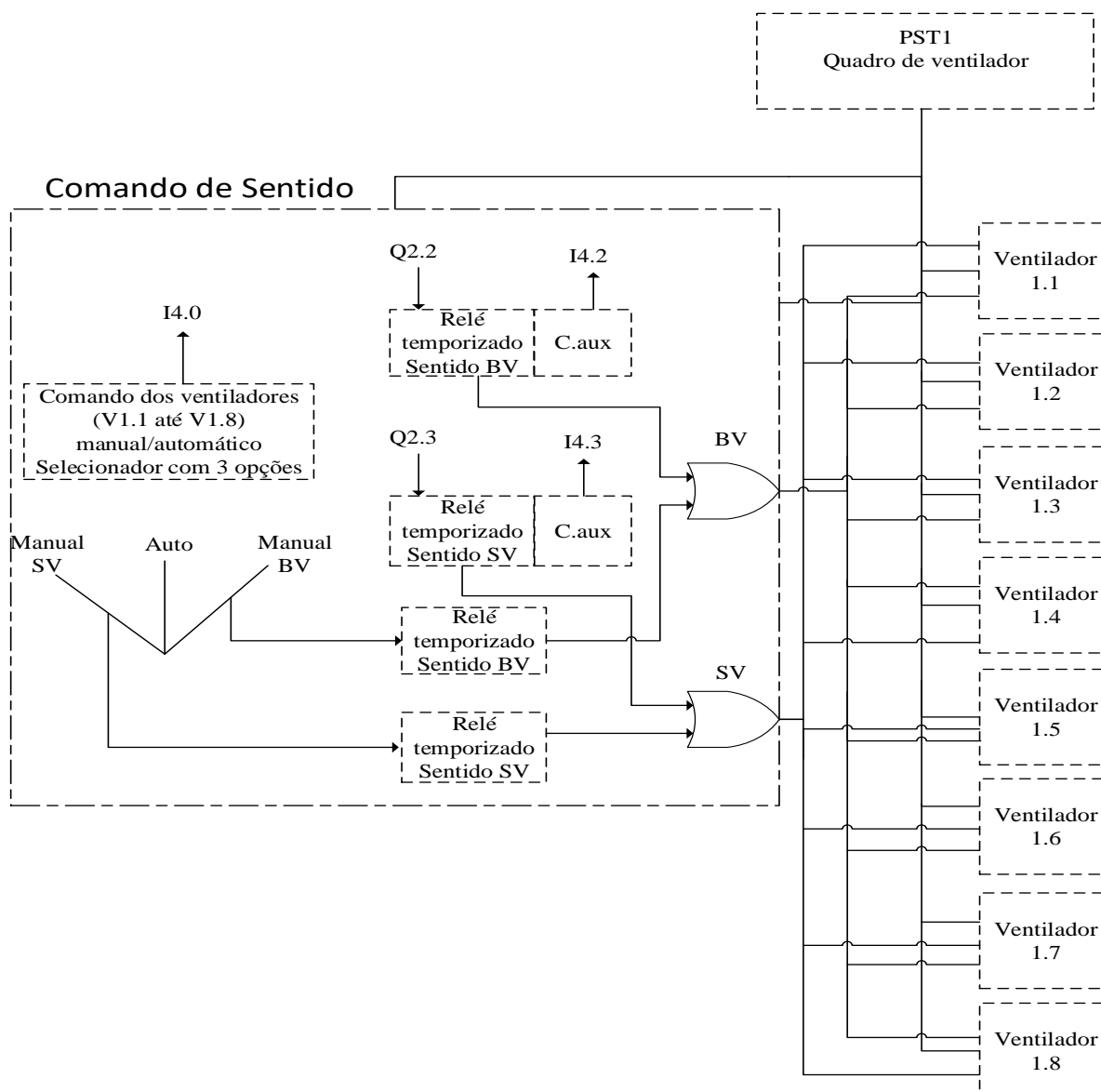


Figura 3.11 – Quadro geral de ventilação

No túnel, estão instalados oito pares de ventiladores de impulso: quatro pares com afastamentos respetivos de 100 m, 200 m, 300 m e 400 m a distar do portal superior (nascente) e outros quatro pares com afastamentos respetivos de 100 m, 200 m, 300 m e 400 m a distar do portal inferior (poente).

As posições onde se encontram os ventiladores devem-se ao facto de a alimentação ser efetuada a partir dos postos de secção e transformação instalados junto aos portais.

Na Figura 3.12 apresenta-se o esquema de ligação de um ventilador com mais detalhe onde é possível visualizar as variáveis de interação com PLC e podem ser consultadas no Anexo A.

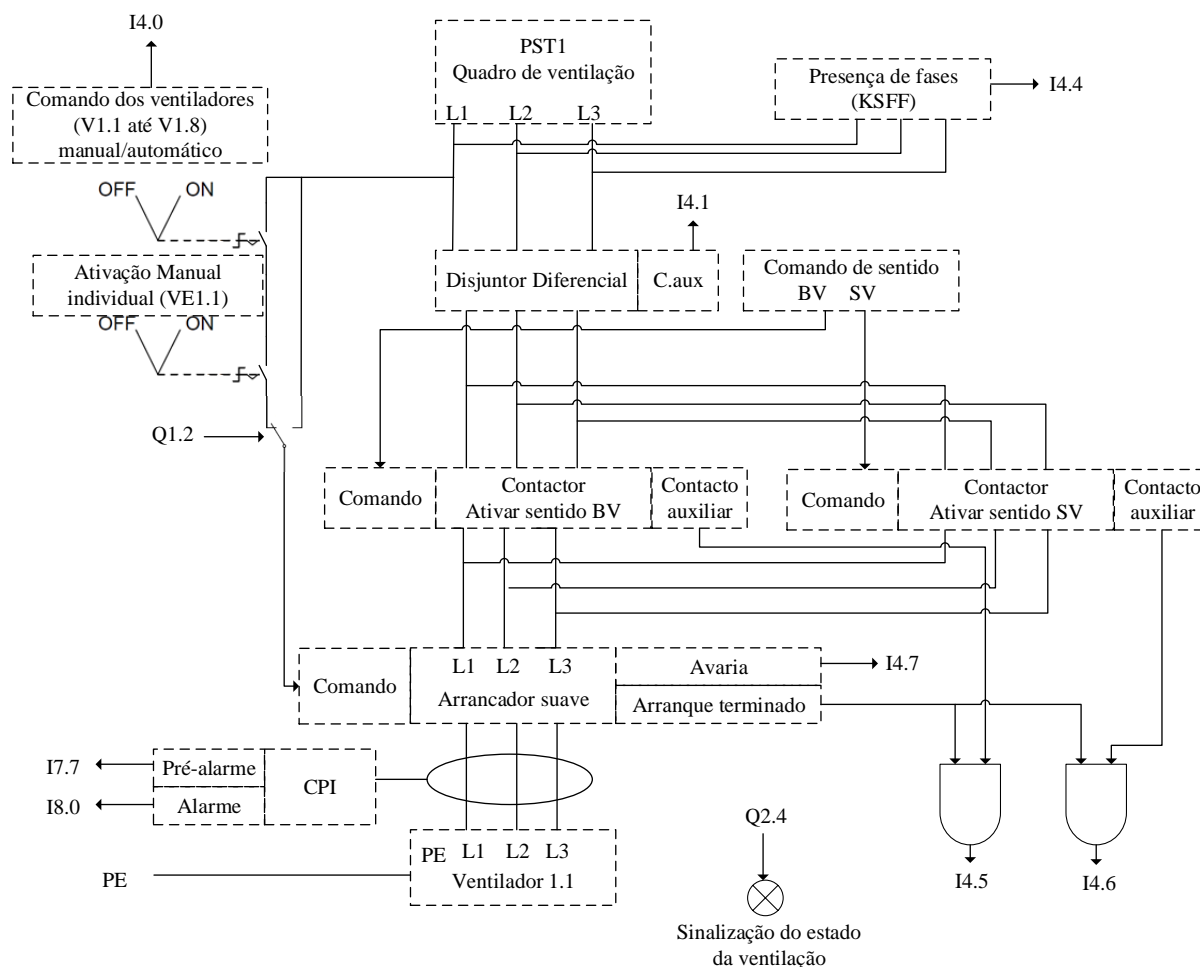


Figura 3.12 – Esquema de ligação do ventilador 1.1.

3.5.2 PLC

Utiliza-se o PLC SIMATIC S7-1500 – modelo S7-1515-2PN [56] – sendo este um controlador lógico industrial para aplicações na gama média/alta de performance em arquiteturas de automação de larga escala, com funções integradas de controlo de posicionamento e entradas/saídas descentralizadas [57].

Para a implementação das entradas/saídas descentralizadas, utiliza-se a estação remota do tipo SIMATIC ET 200SP [58]. São instaladas três estações remotas do mesmo tipo, uma junto do CPU no centro de controlo, outra na galeria aproximadamente no meio do túnel e, a última, na outra extremidade do túnel, perto do segundo posto de secção e transformação. Com a utilização destas estações remotas, é possível efetuar as leituras e os comandos, pelo PLC, nos múltiplos equipamentos distribuídos pelo túnel.

Utiliza-se um HMI [59], para realizar funções de visualização, simulação e comando, junto do CPU na sala de controlo e monitorização.

A Figura 3.2 ilustra a sua localização em ambas as áreas assinaladas a tracejado, porém a Figura 3.13 apresenta com mais detalhe o seu diagrama de conexões.

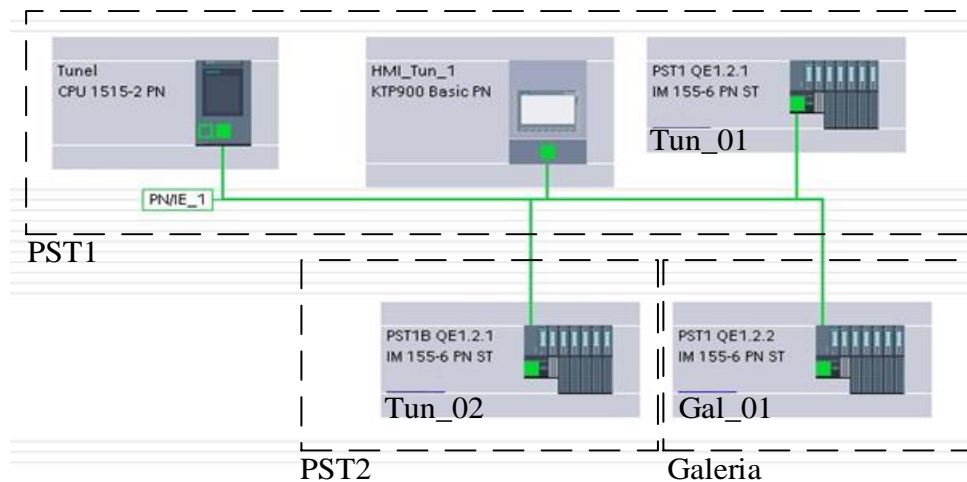


Figura 3.13 – Diagrama de conexões do PLC no *software TIA Portal*.

Relativamente à troca de dados entre os diferentes sistemas, essa é possível graças a uma rede de comunicação de fibra óptica existente ao longo do túnel [55].

3.5.3 Sensores de CO e de visibilidade

Com base no comprimento do túnel foi definida a instalação de dois sensores que permitem ler os níveis de CO e apurar a visibilidade. As respectivas localizações são: 1 sensor com afastamento de 55 m a partir do portal superior (nascente) e outro com afastamento de 55 m a partir do portal inferior (poente) [55].

Utiliza-se o modelo TunnelTech 202 [27] para medir os níveis de CO e a visibilidade no interior do túnel. Para a comunicação utilizam-se duas portas analógicas e duas digitais, Figura 3.14. Uma das portas analógicas é utilizada para indicar o nível de CO a medir, fornecendo valores entre 4 mA e 20 mA, correspondendo a um intervalo de 0 a 300 ppm. A outra porta analógica, é utilizada para indicar o valor do nível de visibilidade, sendo enviado os valores com intervalo de 4 mA até 20 mA, correspondente a 0 até 0,015 m⁻¹.

Utilizam-se duas portas digitais para validar os valores obtidos das portas analógicas, isto é, uma digital valida os valores dos níveis de visibilidade e a outra valida os valores obtidos relativamente aos níveis de CO. Ambas as portas digitais funcionam em lógica direta, isto é, o valor lógico ‘1’ valida os valores obtidos e o valor lógico ‘0’ invalida os valores obtidos, indicando que algo está mal, sendo possível o sensor estar em calibração, avariado, ou em situação de incêndio estando, portanto, danificado.

Na Figura 3.14 visualizam-se as variáveis de interação com o PLC do sensor de CO e de visibilidade instalado no portal nascente (Boaventura) e alimentado pelo PST1, sendo que para o outro sensor a variáveis são diferentes e podem ser consultadas no Anexo A.

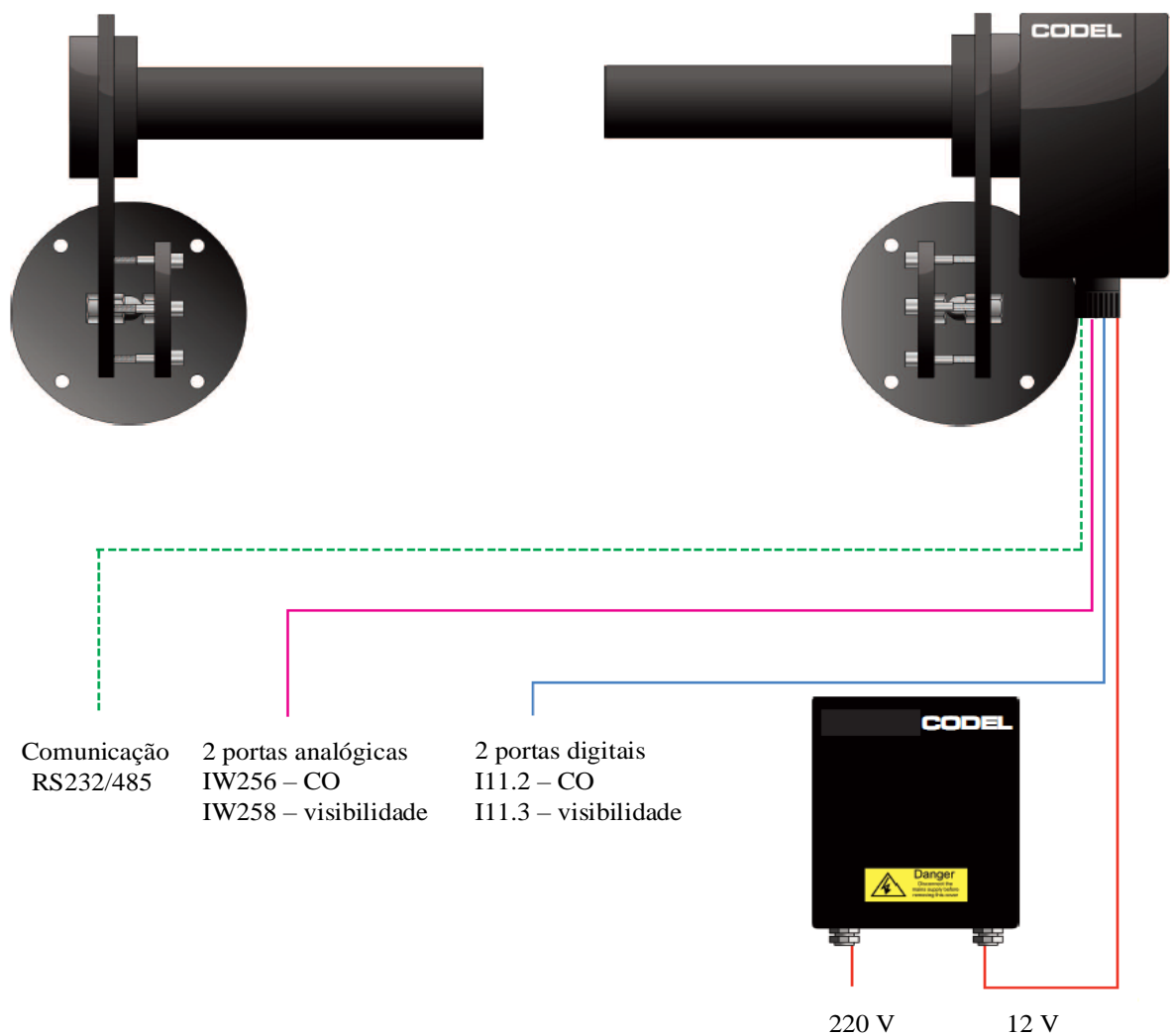


Figura 3.14 – Esquema de ligação do sensor de CO e de visibilidade.

3.5.4 Anemómetro

Este equipamento está instalado no meio do túnel, aproximadamente, a 515 m a partir do portal superior (nascente).

Segundo a memória descritiva, inicialmente estava prevista a utilização de dois anemómetros, porém as galerias pedonais e de emergência foram consideradas câmaras de corta-fogo, fazendo com que o caudal ao longo do túnel fosse preservado, o que pressupôs a necessidade de apenas um equipamento [55].

Um anemómetro – modelo *TunnelTech* 301 [32] – é utilizado no centro do túnel, de forma a medir a velocidade do fluxo do ar e a sua direção. Na comunicação, utilizaram-se três portas: uma analógica e duas digitais, Figura 3.15. A analógica fornece valores com intervalos de 4 mA até 20 mA, correspondendo a 0 m/s até 20 m/s. As portas digitais são utilizadas para indicar a direção do fluxo do ar, sendo o valor lógico ‘1’ que representa o sentido São Vicente – Boaventura e o valor lógico ‘0’ que representa o sentido Boaventura – São Vicente, e outra para indicar o estado do anemómetro.

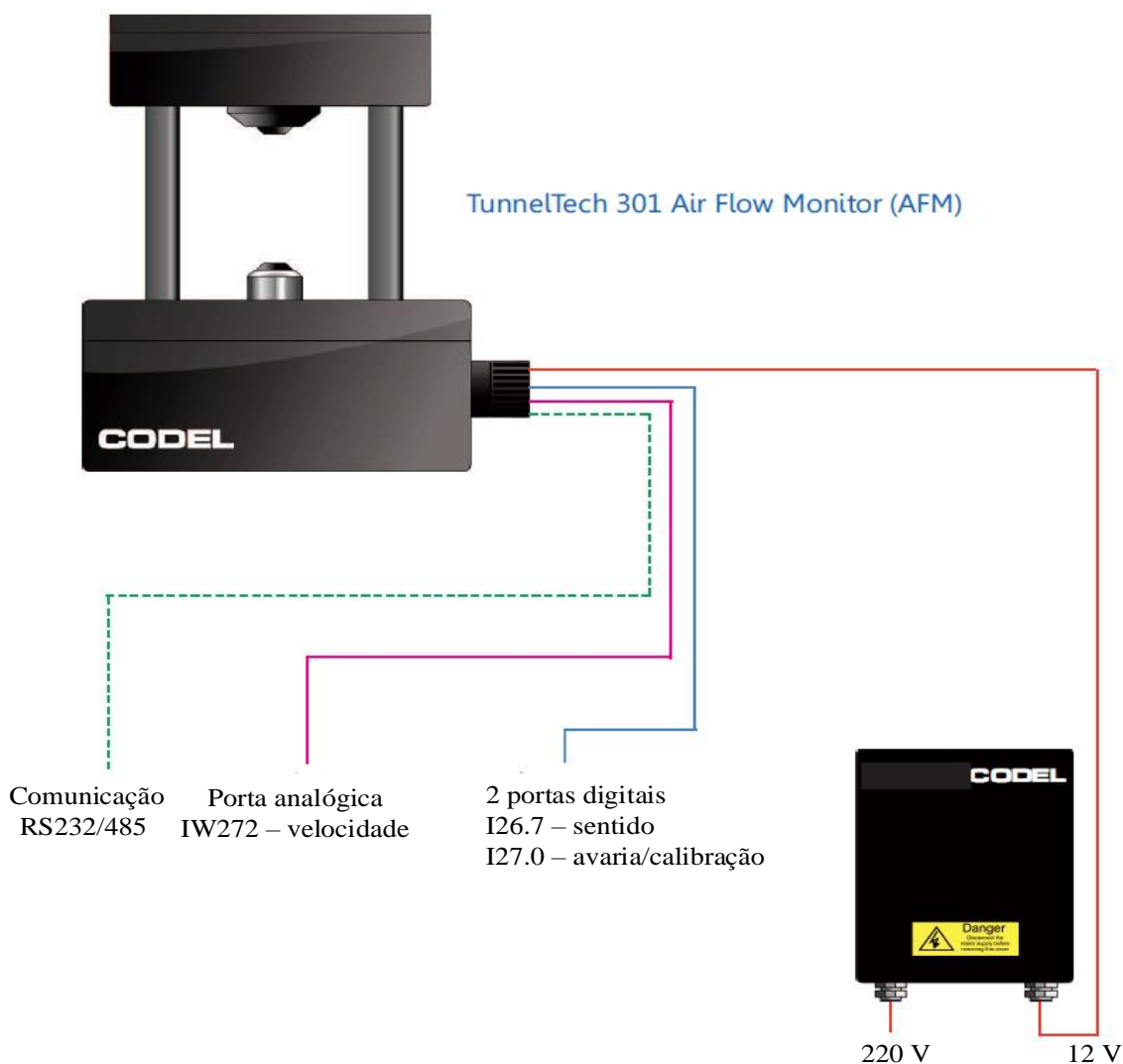


Figura 3.15 – Esquema de ligação do anemômetro.

3.5.5 Detecção de incêndio – *linear heath detection* (LHD)

Para a detecção de incêndio utiliza-se um sistema de detecção linear de calor. Uma vez que este sistema é um elemento linear (cabo de fibra) estendido por todo o túnel, deteta o valor da temperatura ao longo do mesmo e revela com extrema precisão a localização de um eventual incêndio, isto é, precisão inferior a 5 m [55].

Utiliza-se o modelo DE.TECT LHD [50], com a finalidade de localizar a existência de incêndio. Para comunicar com o PLC utilizam-se as 12 saídas digitais, Figura 3.16, uma para indicar o pré-alarme quando a temperatura ultrapassa um valor estipulado, outra para indicar o alarme quando a temperatura ultrapassa determinados graus celsius, significando incêndio, e as restantes saídas foram alvo de diferentes combinações binárias para indicar a zona exata onde está a ocorrer incêndio, Tabela 3.4.

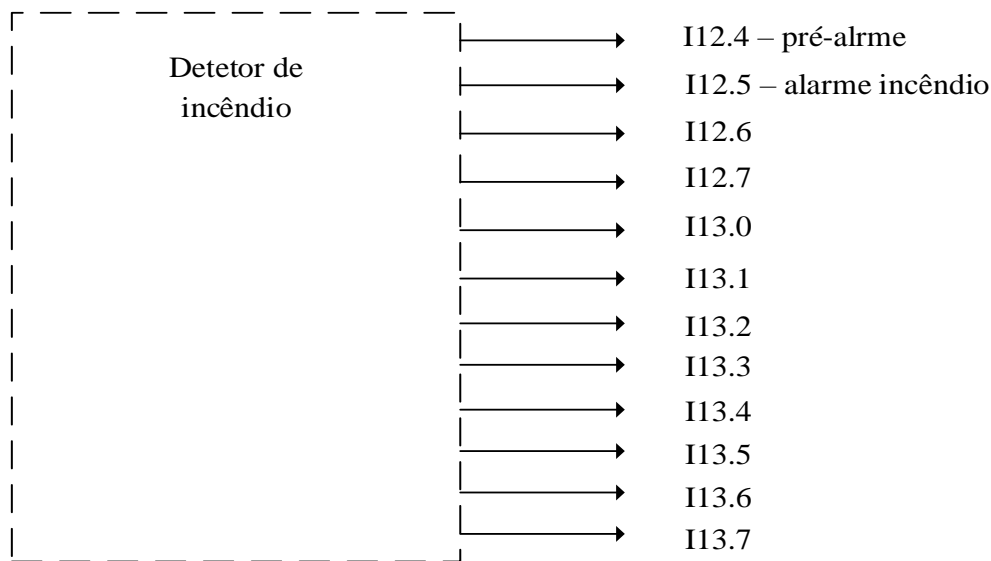


Figura 3.16 – Esquema de ligação do detector de incêndio.

Na Figura 3.17 mostra-se como foram definidas as zonas no interior do túnel e desta forma define-se no detector de incêndio qual a combinação de portas digitais para que o PLC posteriormente identifique a zona em caso de incêndio.

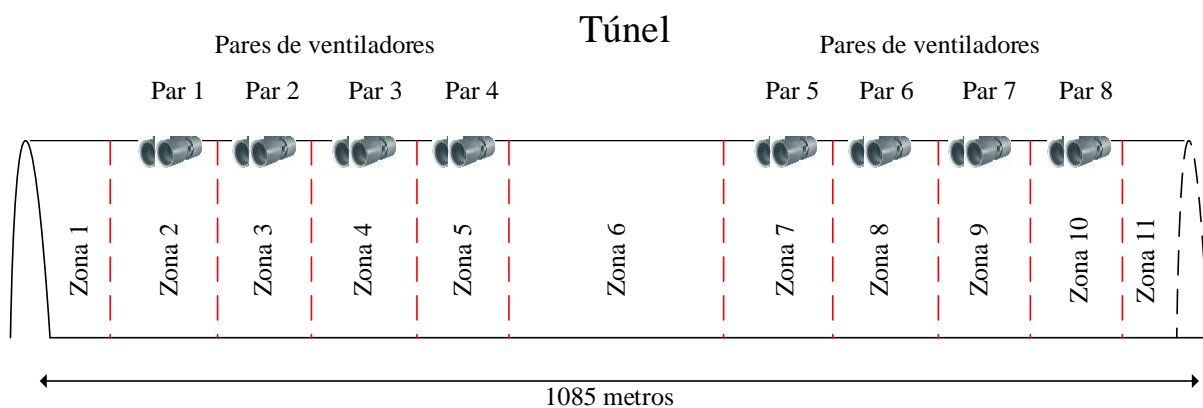


Figura 3.17 – Representação das zonas no interior do túnel.

Na Tabela 3.4 é possível observar a combinação correspondente à zona.

Tabela 3.4 – Combinações binárias para indicar a zona de incêndio.

Zona	Saídas digitais do detector de incêndio									
	I2.6	I2.7	I3.0	I3.1	I3.2	I3.3	I3.4	I3.5	I3.6	I3.7
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

Zona	Saídas digitais do detetor de incêndio									
	I2.6	I2.7	I3.0	I3.1	I3.2	I3.3	I3.4	I3.5	I3.6	I3.7
3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
6	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
7	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
8	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
10	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
11	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1

3.5.6 Luminancímetro

Este equipamento – modelo LUMIOS MkIII [41] – é utilizado para medir a luminância no exterior do túnel, existindo um em cada extremidade. O sinal é enviado por meio de uma porta analógica, Figura 3.18, com intervalos de medida entre 4 mA até 20 mA, correspondendo ao intervalo de 0 a 10000 cd/m²,

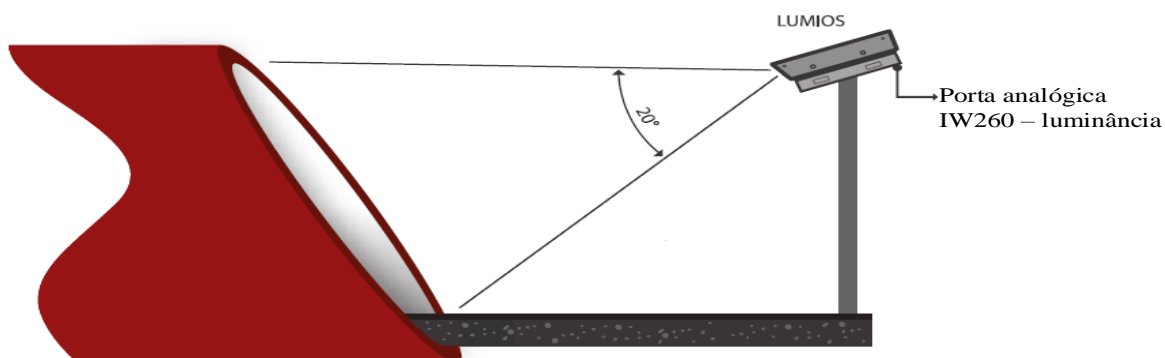


Figura 3.18 – Esquema de ligação do luminancímetro.

3.5.7 Detetor de movimento

Instalam-se detetores de movimento – modelo 18.A1 [60] – na galeria de evacuação, aproximadamente no meio do túnel, tendo a galeria acesso ao exterior. Sempre que seja detetado algum movimento, o equipamento fornece um sinal digital ao PLC. Na Figura 3.19 apresenta-se o esquema de ligação e comunicação com o PLC.

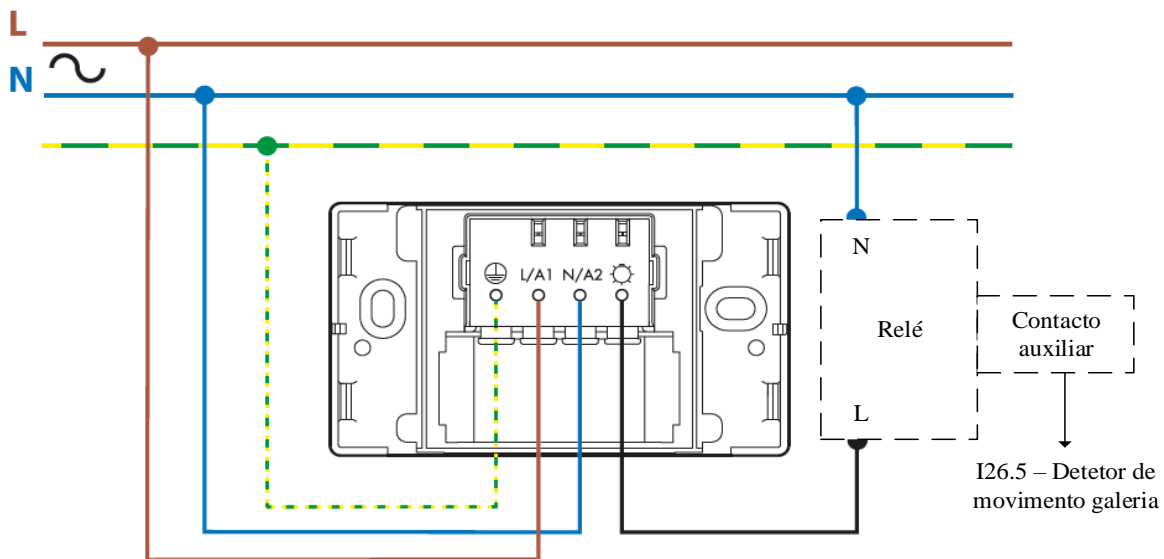


Figura 3.19 – Esquema de ligação do detetor de movimento.

3.5.8 Semáforo

Utilizam-se semáforos – modelo Semáforo *LED* de policarbonato [61] – nas extremidades do túnel de forma a sinalizar a sua operacionalidade, alertando assim os condutores.

Estes funcionam em modo manual ou automático, em manual o utilizador pode seleccionar a cor no quadro correspondente a cada extremidade do túnel e no modo automático, o PLC ativa a cor vermelha em caso de incêndio no interior do túnel caso contrário mantém a cor verde.

3.5.9 Arrancador suave

Utilizam-se arrancadores suaves – modelos 3RW44 24-1BC44 [62] e 3RW40 36-1BB14 [63] – de forma a assegurar a utilização dos ventiladores de impulso, protegendo o motor e aumentando o seu tempo de via útil. Este equipamento recebe um comando do PLC para acionar o ventilador e fornece de volta ao PLC informação sobre o acionamento do mesmo, isto é, se o acionamento já terminou ou se houve falha.

3.5.10 Controlador permanente de isolamento

Utilizam-se CPIs (Controlador permanente de isolamento) – modelos RR 5887 [64], RN 5897 [65] e RR 5886 [66] – pois é implementado o esquema IT para o quadro que contém os circuitos responsáveis pela ativação e desativação dos ventiladores. Os CPIs são responsáveis por detetar falhas de isolamento, localizar e comunicar com o PLC.

3.5.11 Contatos auxiliares

Os aparelhos responsáveis pelas interrupções de circuitos são equipados com contatos auxiliares, com a finalidade de fornecer ao PLC, numa porta digital, o seu estado atual. Desta

forma o PLC consegue conjugar a informação e se houver algum problema em determinado circuito, o PLC coloca o equipamento principal desse circuito indisponível, e também identifica a causa do problema.

3.6 Controlo da ventilação

Nesta secção descreve-se o sistema de controlo da ventilação. Este está dependente dos dados que recebe dos diferentes equipamentos de medida, relacionados com as condições ambientais no interior do túnel [55].

Os parâmetros medidos ao longo do túnel, que têm influência direta no funcionamento dos ventiladores são [55]:

- Velocidade e direção do vento no interior do túnel;
- Visibilidade no interior do túnel;
- Concentração de gases tóxicos no interior do túnel: CO;
- Detecção de incêndio com LHD.

3.6.1 Disposição dos pontos de medida

Para a disposição dos pontos de medida, foram tidos em conta diferentes parâmetros como: tipo de perfil do túnel traçado, tipo de sistema de ventilação, número e disposição dos ventiladores.

Quanto aos posicionamentos dos sensores, estes são escolhidos com base nos seguintes critérios [55]:

- Os sensores não devem ser instalados diretamente junto dos ventiladores ou junto do fluxo de ar fresco de um ventilador, para assegurar que o valor de medição reflita a concentração real;
- O feixe de medição entre os sensores de infravermelhos não pode ser interrompido por luminárias ou pelos veículos que atravessem o túnel;
- A altura à qual é instalado o par de sensores é de 2,60 m em relação ao pavimento;
- Prever espaço suficiente para retirar a tampa da carcaça dos sensores.

Relativamente aos dados recolhidos pelos sensores, estes são transmitidos através do dispositivo de controlo distribuído que, por sua vez, transmite a informação ao centro de controlo local.

3.6.2 Sistema de controlo de ventilação

A ventilação no seu estado de funcionamento normal está sempre dependente dos valores de referência de CO (ventilação higiénica) e dos da opacidade (ventilação de segurança). Portanto, segundo estes parâmetros são definidos níveis de ventilação apropriados.

Posto isto, são abaixo apresentados os diferentes intervalos relativos aos poluentes monóxido de carbono (CO) e opacidade (K – coeficiente de extinção) e a consequente ativação dos pares de ventiladores [55].

Para poluentes CO:

- $CO < 20$ ppm – todos os ventiladores parados (*setpoint* 0);
- $20 \leq CO < 35$ ppm – ativação de 2 pares de ventiladores à velocidade nominal (*setpoint* 1);
- $35 \leq CO < 70$ ppm – ativação de 4 pares de ventiladores, no sentido do escoamento do fluxo de ar no interior do túnel, na velocidade nominal (*setpoint* 2);
- $CO \geq 70$ ppm – ativação de todos os ventiladores no sentido do escoamento do fluxo de ar no interior do túnel na velocidade nominal (*setpoint* 3);
- $CO \geq 150$ ppm – caso se verifique que a concentração se mantém acima de 150 ppm por um período superior a 5 minutos no mesmo sensor, com a ventilação a operar no máximo, o túnel deve ser encerrado e deve ser considerada a eventual condição de ocorrência de incêndio (*setpoint* 4).

Os valores do coeficiente de extinção, K , são:

- $K < 0,003 \text{ m}^{-1}$ – todos os ventiladores parados (*setpoint* 0);
- $0,003 \leq K < 0,005 \text{ m}^{-1}$ – lançamento de 2 pares de ventiladores à velocidade nominal (*setpoint* 1);
- $0,005 \leq K < 0,007 \text{ m}^{-1}$ – lançamento de 4 pares de ventiladores, no sentido do escoamento do fluxo de ar no interior do túnel, na velocidade nominal (*setpoint* 2);
- $K \geq 0,007 \text{ m}^{-1}$ – lançamento de todos os ventiladores no sentido do escoamento do fluxo de ar no interior do túnel na velocidade nominal (*setpoint* 3);
- $K \geq 0,009 \text{ m}^{-1}$ – se se verificar que o coeficiente de extinção se mantém acima de $0,009 \text{ m}^{-1}$ por um período superior a 5 minutos num mesmo sensor, com a ventilação a operar no máximo, o túnel deve ser encerrado e deve ser considerada a eventual condição de ocorrência de incêndio (*setpoint* 4) [55].

3.6.3 Sistema de controlo de fumo

O posicionamento dos ventiladores, supracitado na secção 3.5.1, é muito importante no que diz respeito ao desempenho do sistema de ventilação, pois se o mesmo não for bem definido, em situação de incêndio, poderá não se realizar o processo de escoamento do fumo com eficiência.

Ainda em situação de incêndio, o procedimento para o controlo do fumo é definido tendo em conta o facto de não existir ligação a um centro de controlo remoto, onde um eventual operador teria de tomar uma decisão em relação ao sentido que os ventiladores devem ser acionados, o que minimizaria a ocorrência de fatalidades. Posto isto, o funcionamento do sistema de ventilação consiste em acionar, à velocidade nominal, todos os ventiladores no sentido ascendente, independentemente do sentido do fluxo de ar no interior do túnel [55].

Se houver ventiladores a operar no sentido descendente, estes deverão ser parados (cerca de 30 segundos) e posteriormente deverão ser acionados em sentido ascendente. Este procedimento deve ser feito para cada par (da mesma secção reta) começando pelos pares a jusante, dos mais afastados para os mais próximos do foco do incêndio, de forma a permitir estratificação na fase inicial do incêndio. Desta maneira facilitam-se as condições de evacuação e quando os ventiladores a jusante estiverem todos em operação devem começar a ser acionados os a montante, começando de forma similar aos outros, dos mais afastados para os mais próximos [55].

É importante salientar que, sobreposto aos automatismos, existe um sistema de acionamento e controlo manual a ser operado exclusivamente pelos serviços de emergência. Este sistema está instalado em ambos os portais, porém apenas é recomendada a sua ativação após o término da auto-evacuação.

O acionamento dos ventiladores pode ser considerado em duas situações principais distintas, com características diferentes. A primeira situação, numa fase inicial do incêndio, com pouca intensidade térmica, a ativação dos ventiladores é eficaz, moderando o foco de incêndio e o fumo. Diferente desta é a segunda situação que, assumindo o aumento do efeito térmico do incêndio, recomenda uma redução do uso da ventilação, uma vez que o fluxo de ar gerado pela mesma apenas irá contribuir para o aumento do foco de incêndio [55].

Considerando todas as situações e dado que a velocidade crítica do ar dentro do túnel é de aproximadamente 2 m/s – supracitada na secção 3.4.3 na Tabela 3.2 – consegue-se monitorizar a velocidade do fluxo do ar com apoio do anemómetro e, por conseguinte, estabelecer o número de ventiladores necessários para manter uma velocidade inferior à crítica, porém próxima [55].

O procedimento a implementar em caso de incêndio encontra-se ilustrado em baixo:

1. Após deteção de um incêndio e a sua localização, o sistema de ventilação deverá ser desligado.
2. Com o anemómetro, é medido a velocidade e direção do fluxo do ar, de forma a identificar a velocidade crítica;
3. Se o sentido do fluxo do ar for descendente são acionados pares de ventiladores no sentido ascendente. É verificado entre o acionamento de cada par de ventiladores, se a velocidade já tem o sentido ascendente e neste caso o valor da velocidade é registado;
4. Se a velocidade registada for inferior à velocidade crítica, deverá ser acionado mais um a par de ventiladores, caso contrário, deverá ser desligado um par de ventiladores;
5. Uma vez atingido este regime, o controlo passa a ser feito aplicando sucessivamente o expresso no ponto 4;

Após o sistema de ventilação entrar neste ciclo de controlo de incêndio, o mesmo voltará ao seu estado de funcionamento normal, quando os serviços de emergência identificarem que o incêndio foi extinto e, por sua vez, é necessário alguém deslocar-se ao centro de controlo para efetuar *reset* no sistema [55].

4 Desenvolvimento do projeto

Nesta secção apresenta-se todo o processo desenvolvido em termos práticos, apresentação dos fluxogramas das funções, desenvolvimento das funções de forma a conjugar as demais condições, a visualização e ainda o comando pelo *display* HMI e a criação dos diferentes cenários de simulação.

4.1 Programa desenvolvido para automatizar o túnel

Nesta seção apresenta-se o processo desenvolvido no *software TIA Portal*, para automatizar o túnel.

Na Figura 4.1 visualiza-se o fluxograma que representa a sequência geral de operações que são efetuadas pelo PLC de forma cíclica.

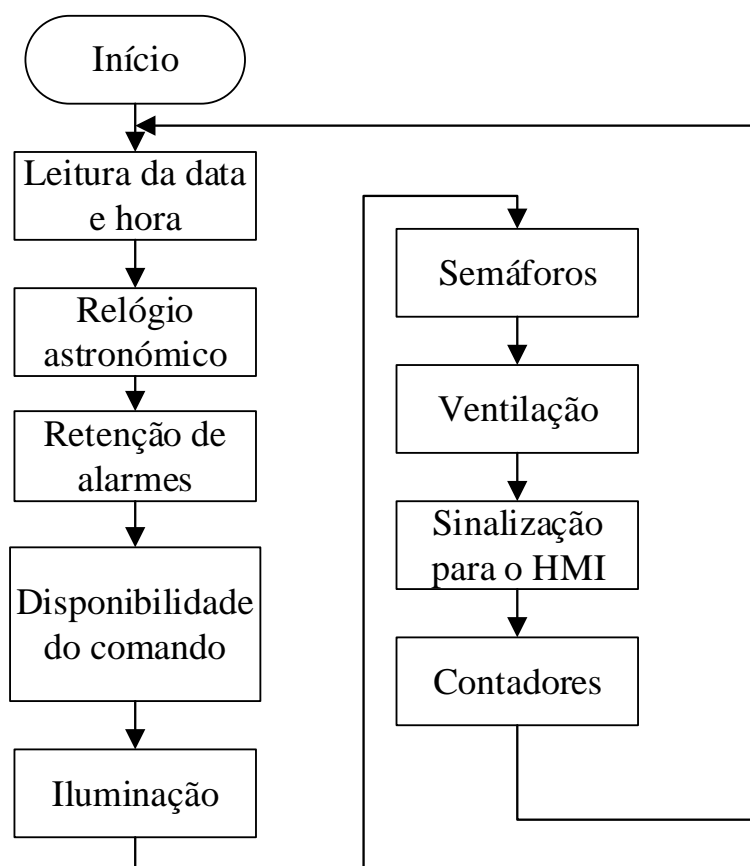


Figura 4.1 – Fluxograma geral.

Nas subsecções seguintes as diferentes etapas do fluxograma são explicadas com mais detalhe.

4.1.1 Retenção de alarmes

A função “Retenção de alarmes”, tal como o nome indica, consiste em reter alarmes uma vez identificadas anomalias nos equipamentos, colocando de imediato os mesmos em estado de alarme. Toda esta informação é guardada numa DB (*Data Base*) alarmes, Anexo B, sendo

utilizada posteriormente pela função “Disponibilidade de comando” e também é utilizada para notificar o utilizador no *display* do HMI, presente no centro de controlo.

Desenvolve-se um fluxograma, presente na Figura 4.2, onde se explica o funcionamento desta função. O procedimento repete-se para todas a entradas correspondentes ao estado dos dispositivos.

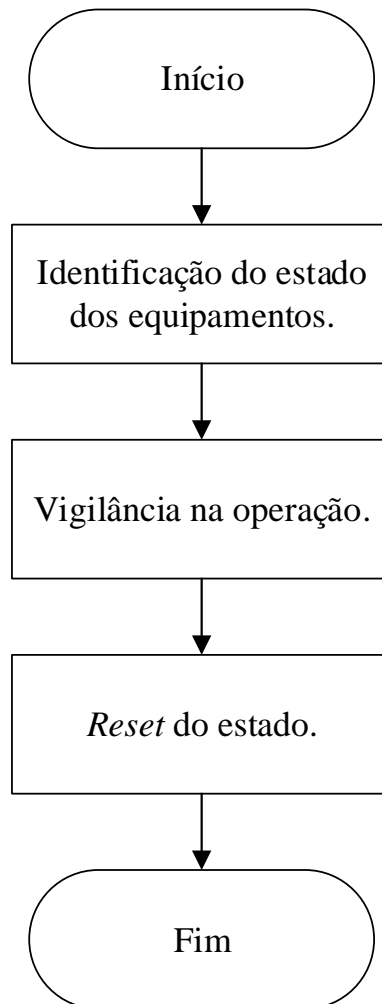


Figura 4.2 – Fluxograma da função “Retenção de alarmes”.

Numa primeira fase os equipamentos, como os disjuntores, fornecem informação ao PLC sobre o seu estado. Se os dispositivos estiverem com problemas o PLC faz *set* numa nova variável, guardada na “DB Alarmes”, Anexo B, para indicar alarme. Na Figura 4.3 está representado o fluxograma do funcionamento da identificação de alarmes.

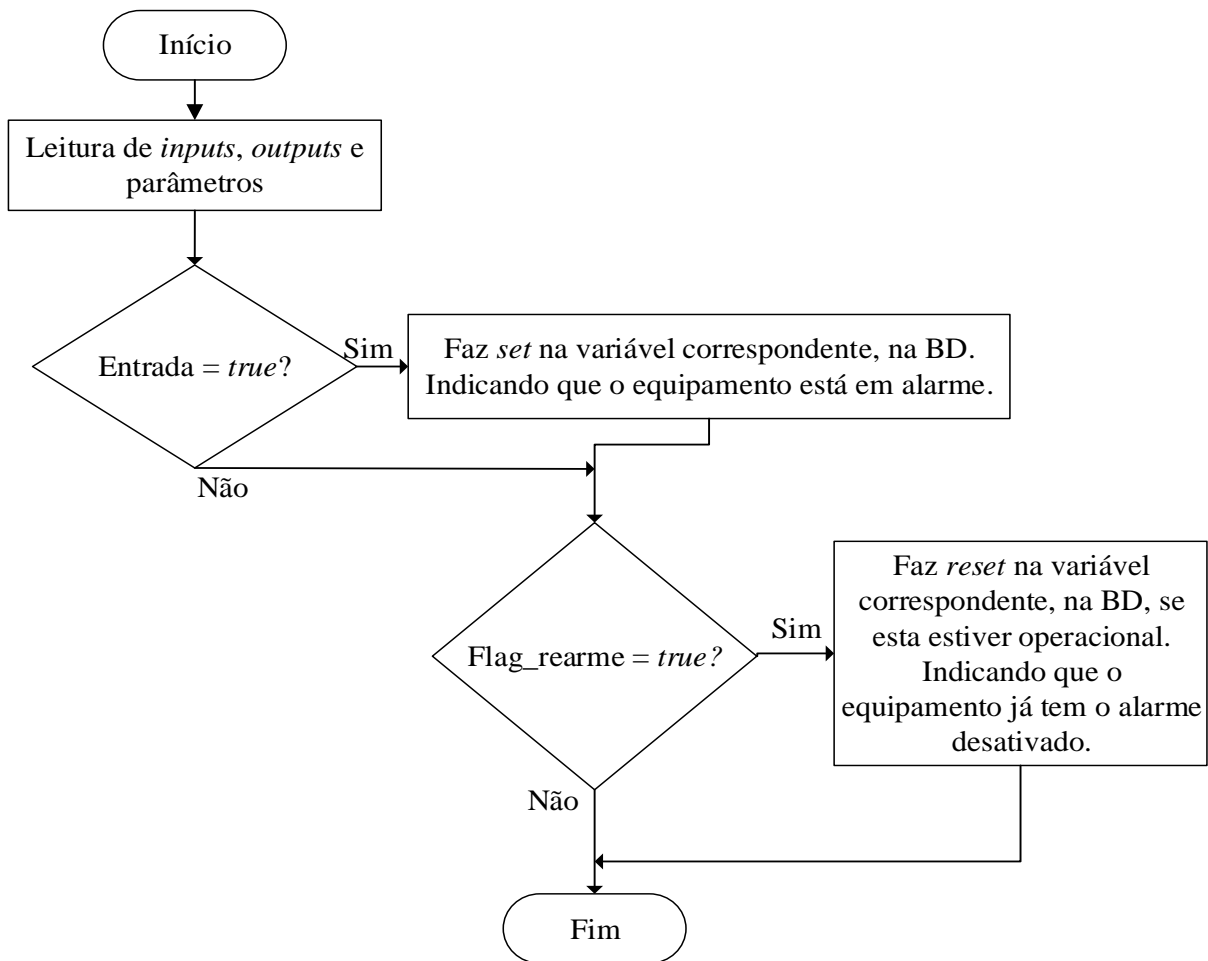


Figura 4.3 – Fluxograma da identificação do estado dos equipamentos.

Na Figura 4.4 e na Figura 4.5 está representado o procedimento efetuado para os disjuntores responsáveis pela operacionalidade dos ventiladores no PST1 e a indicação de avaria no ventilador 1.1. Portanto, se os disjuntores estiverem desligados ou se existir avaria do ventilador o PLC faz *set* nas variáveis identificadas na Figura 4.4.

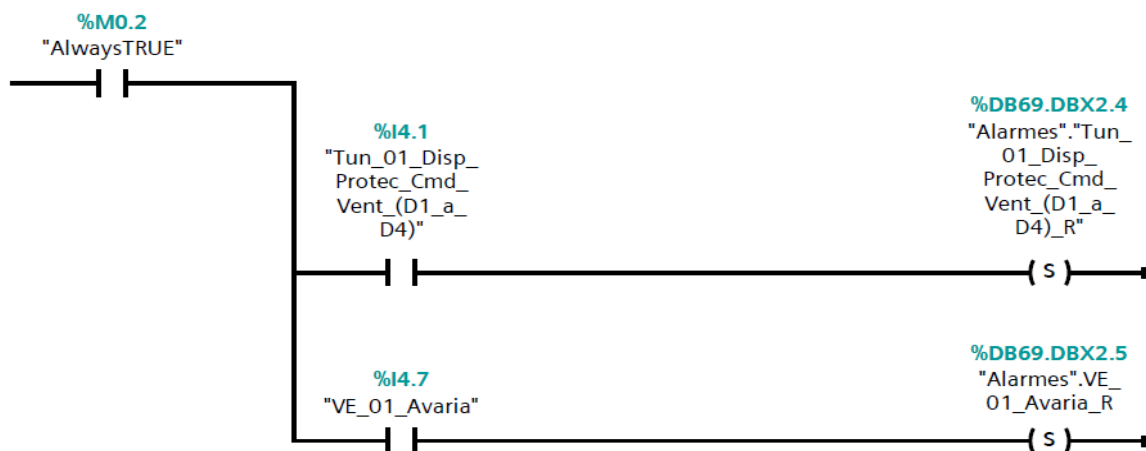


Figura 4.4 – Set na variável correspondente.

Relativamente ao *reset* dos alarmes, este é efetuado após ativação da “flag_rearme” e a confirmação da ativação dos dispositivos (I4.1 e I4.7), Figura 4.5.

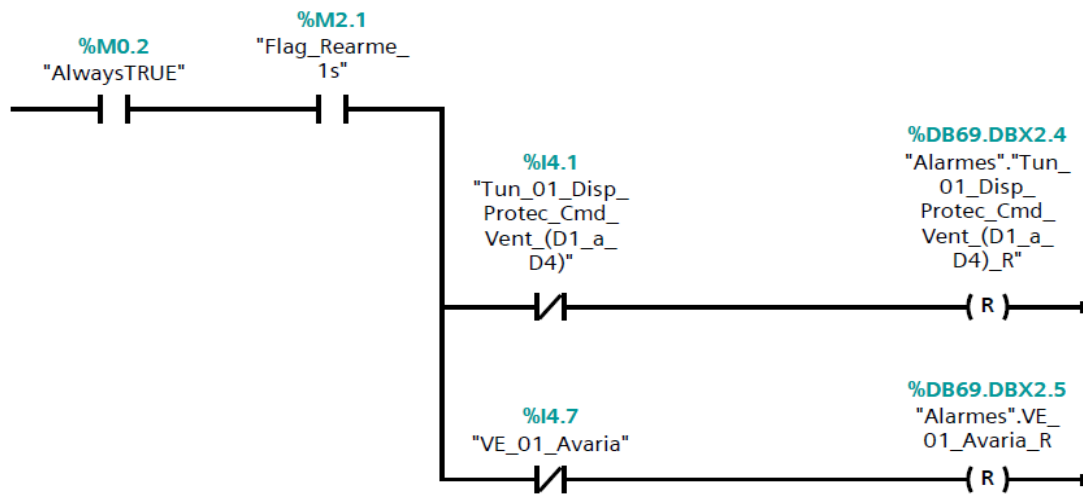


Figura 4.5 – *Reset* na variável correspondente.

Os alarmes podem corresponder também ao comando de ativação de um equipamento e, por conseguinte, este pode não ser acionado. Para tal utiliza-se a vigilância de operação para confirmar a ativação do equipamento, caso contrário é gerado um alarme associado ao equipamento. Na Figura 4.6 é possível visualizar o fluxograma.

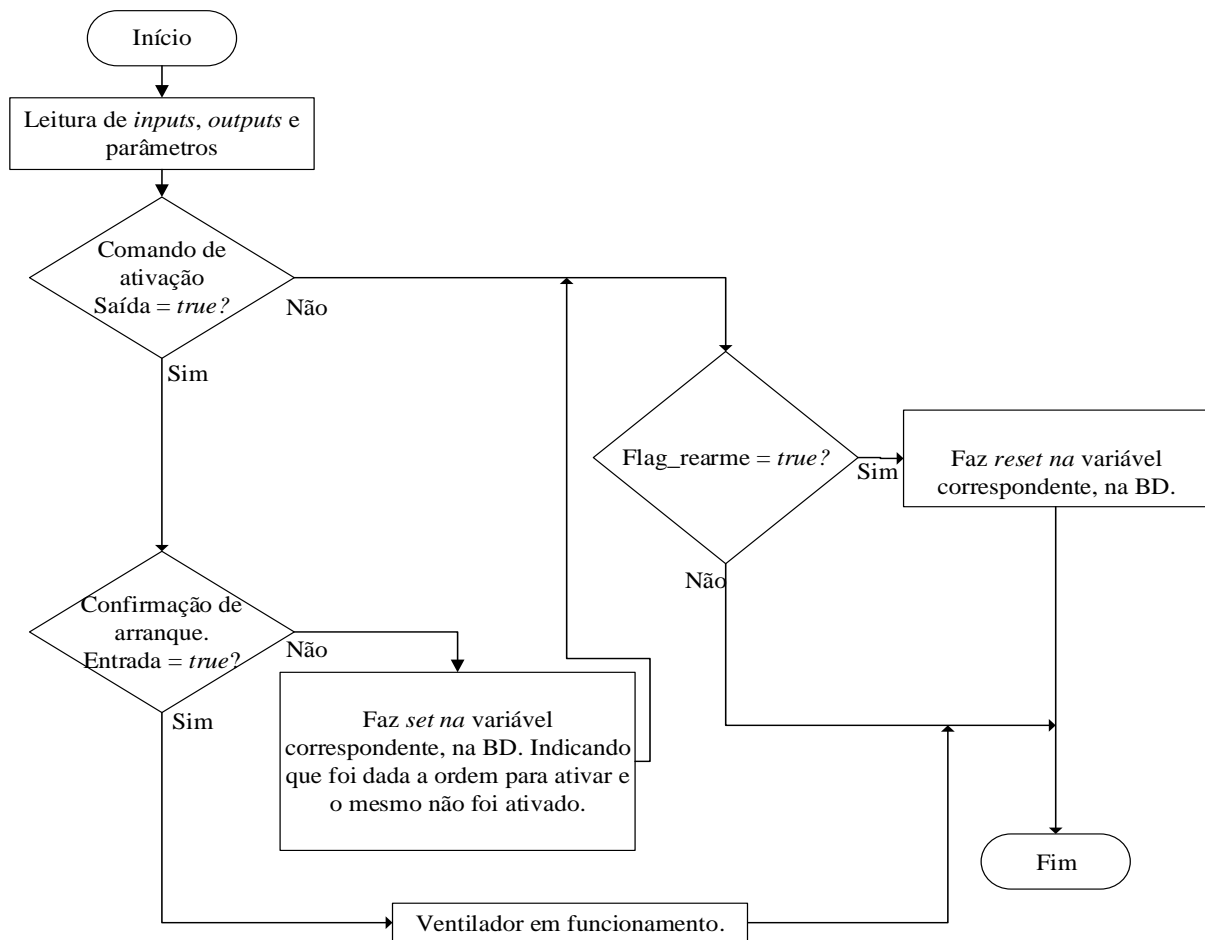


Figura 4.6 – Fluxograma da vigilância de operação.

Nas Figura 4.7 e Figura 4.8 mostra-se o exemplo do ventilador 1.1, quando o PLC ativa uma saída para acionamento do ventilador e o mesmo recebe a confirmação se arrancou ou não. Se o mesmo não arrancar, coloca o ventilador no estado de vigilância na “DB Alarmes”, Anexo B.

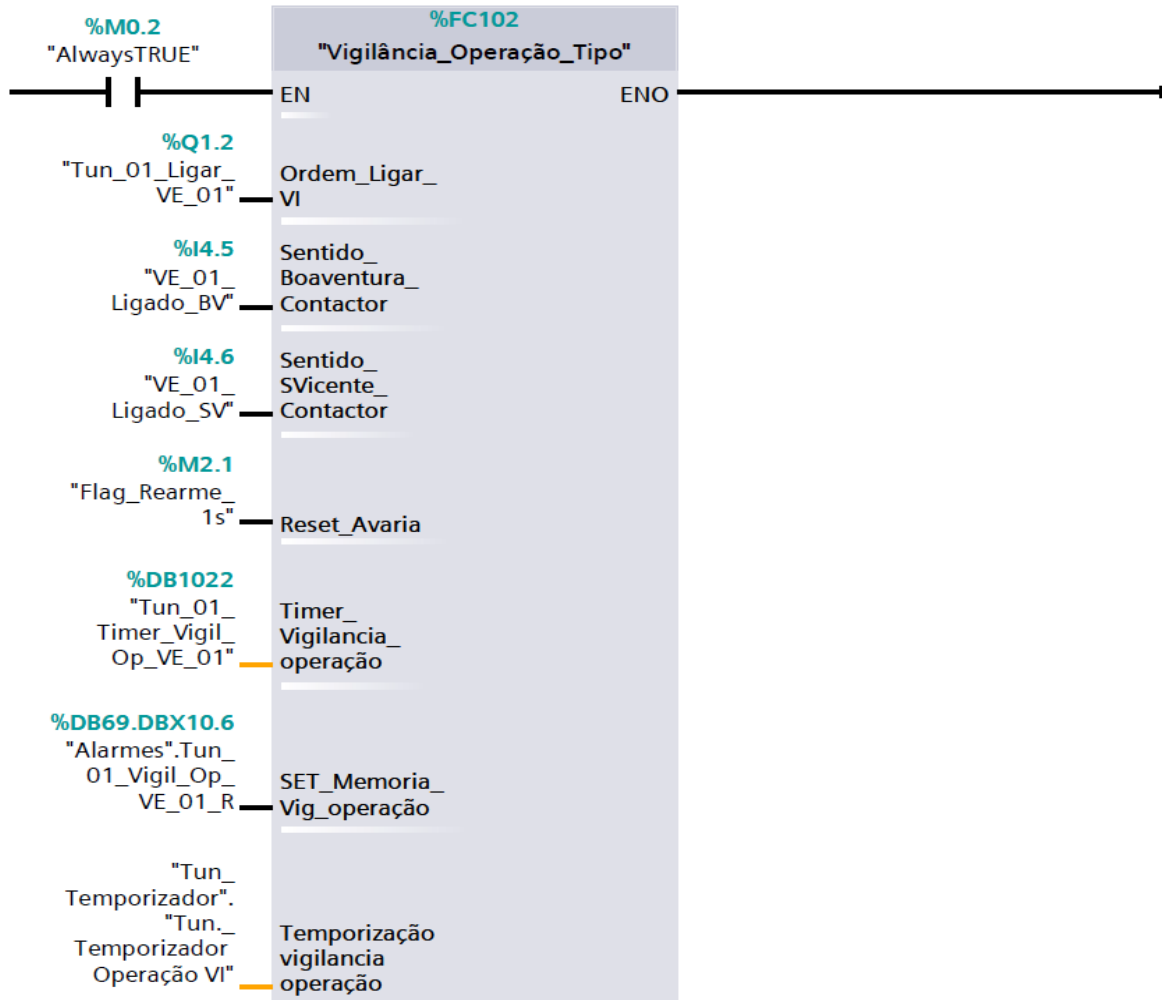


Figura 4.7 – Função vigilância na operação.

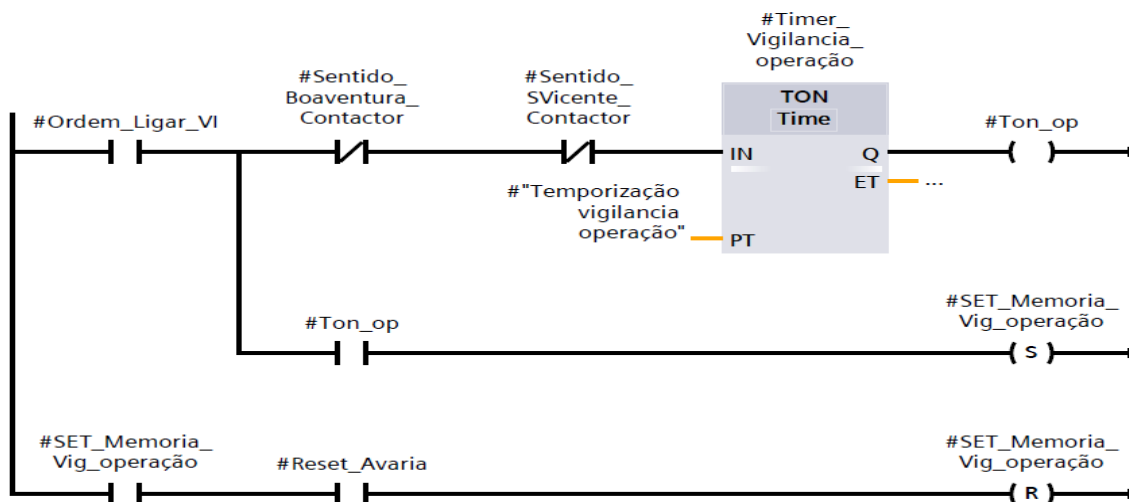


Figura 4.8 – Função “Retenção de Alarmes”, vigilância na operação.

Visto que os equipamentos podem voltar ao seu estado correto de funcionamento, a função verifica de cinco em cinco minutos se o problema detetado anteriormente (por exemplo, se o disjuntor estiver desativado) continua presente e, se tal não acontecer, o mesmo volta a disponibilizar o equipamento para funcionamento (retirando o alarme). Esta operação também pode ser efetuada pelo utilizador, através do acionamento do botão *Reset*, presente no quadro de automação do PST1 e PST2 bem como no quadro da galeria, ignorando assim a verificação a cada cinco minutos. A Figura 4.9 mostra o fluxograma e a Figura 4.10 mostra a implementação desta situação no *software*.

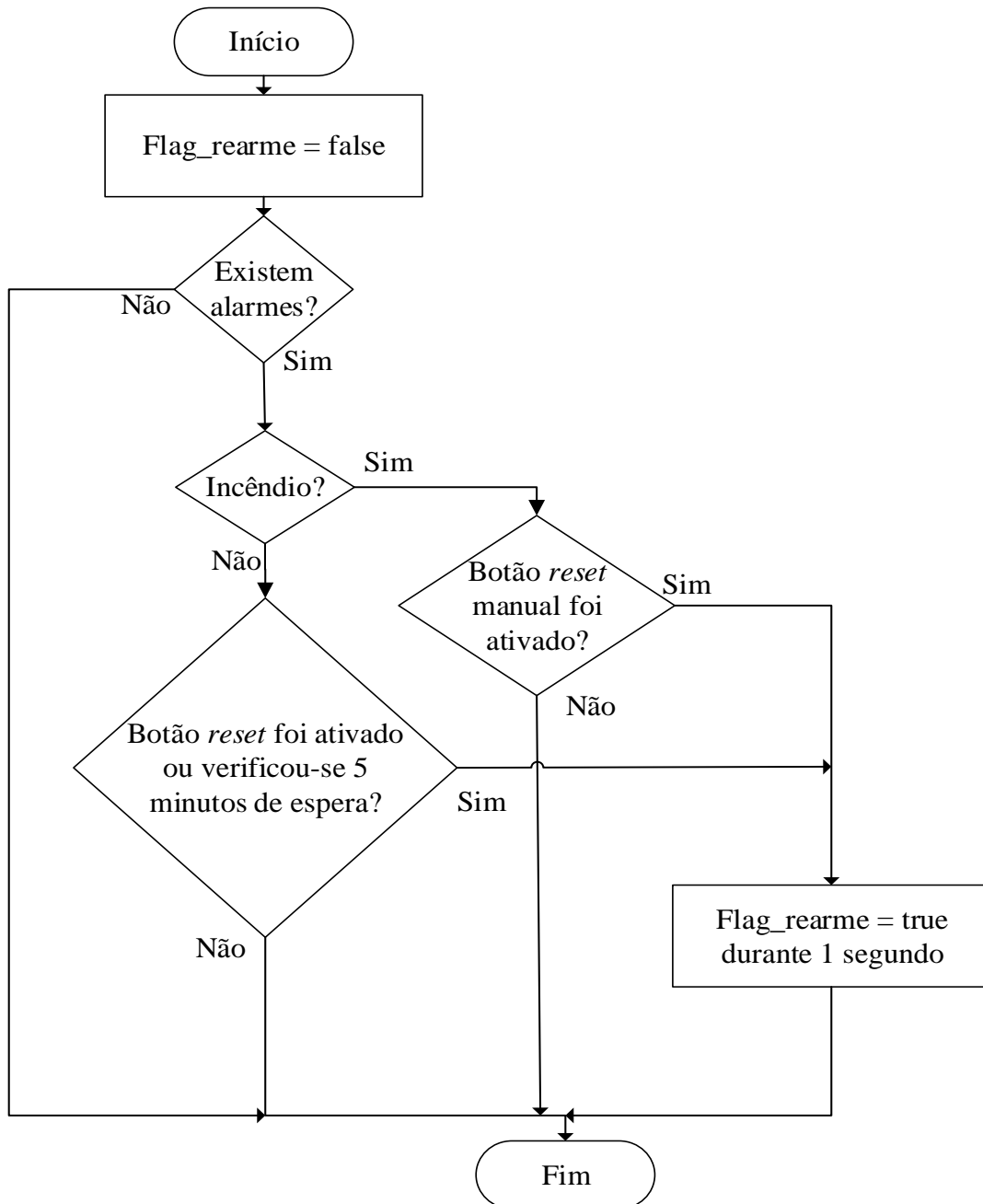


Figura 4.9 – Reset nos alarmes.

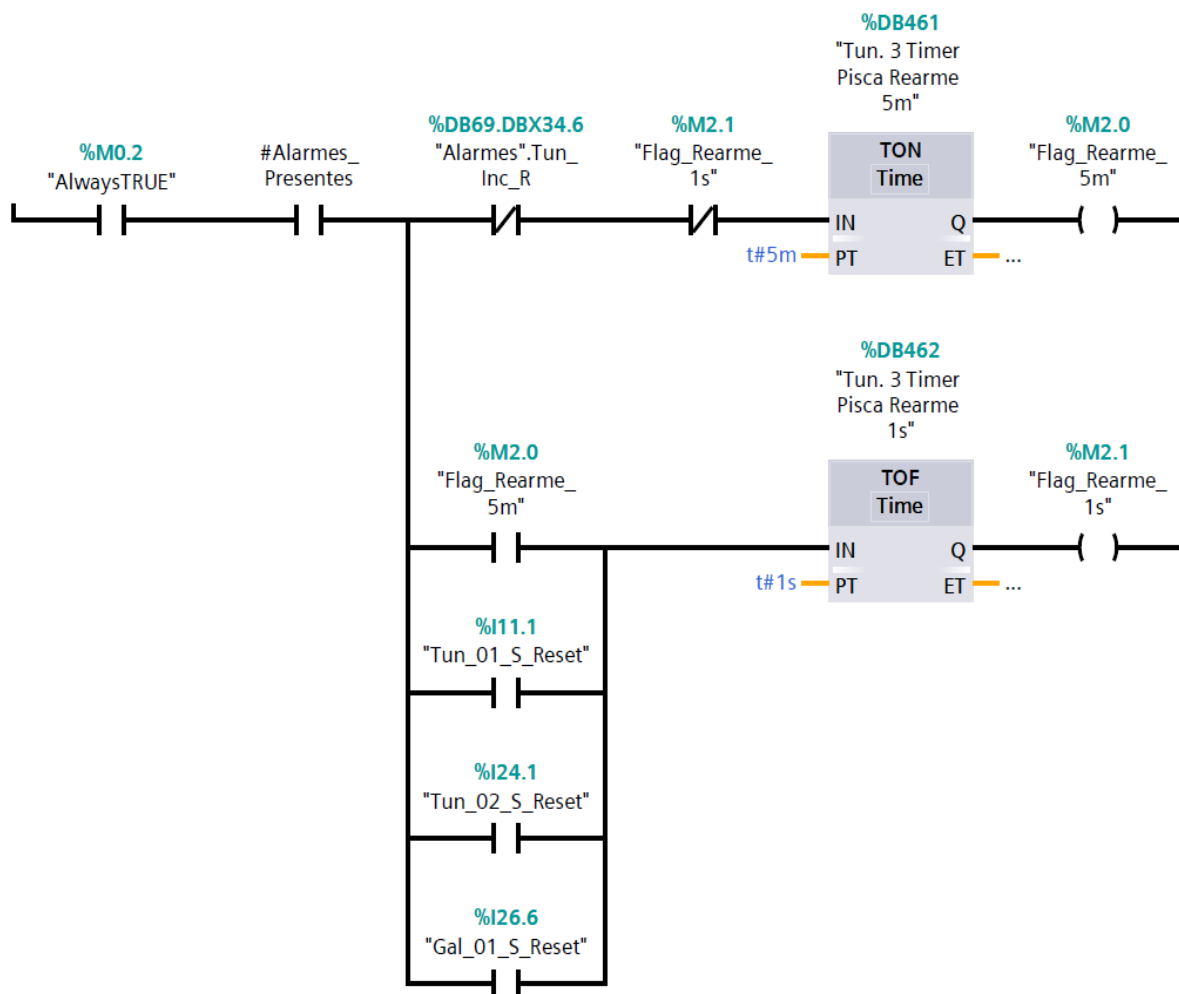


Figura 4.10 – Função “Retenção de Alarmes” *reset* nos alarmes.

Relevante é explicitar que em situação de incêndio a verificação a cada cinco minutos torna-se inválida uma vez que é necessário um utilizador efetuar o *Reset* manualmente dos alarmes, fazendo com que o estado do túnel volte ao normal, sempre e após a informação dos diferentes sensores. Deste modo é garantida a existência da intervenção dos meios necessários para o controlo e segurança do túnel e a posterior ativação do botão *reset* para passagem ao funcionamento normal do túnel.

4.1.2 Disponibilidade de comando

A função disponibilidade consiste num algoritmo que indica se estão reunidas todas as condições para a ativação ou não ativação dos equipamentos. A função “Disponibilidade de comando” é criada com base no fluxograma ilustrado na Figura 4.11.

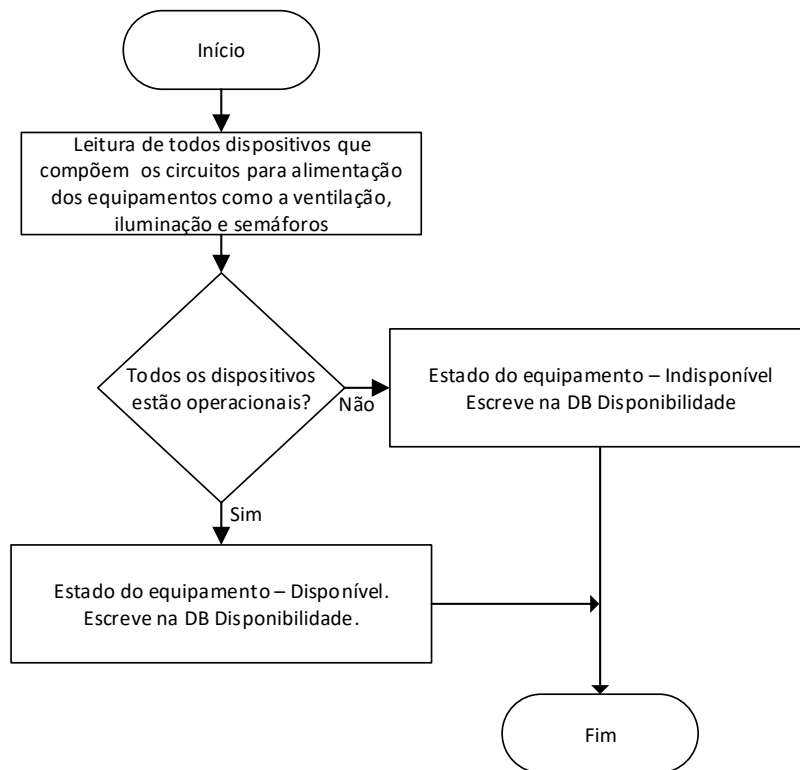


Figura 4.11 – Fluxograma da função “Disponibilidade”.

Para o desenvolvimento desta função é necessário fazer o levantamento das variáveis presentes na “DB alarmes”, Anexo B. Simultaneamente faz-se um estudo dos circuitos, presentes na secção 3, desde o quadro geral até a alimentação final de cada equipamento. Desta forma, o funcionamento dos equipamentos está dependente de uma série de parâmetros, os quais são indicados pela disponibilidade de outros equipamentos intermédios no percurso de alimentação e, também estão dependentes de outras funções desenvolvidas no *software*.

A função “Disponibilidade de comando” verifica a possível existência da disponibilidade dos equipamentos instalados no túnel e, em simultâneo, verifica as diferentes conjugações para controlo de funcionamento do sistema implementado no túnel.

Faz-se um levantamento dos equipamentos dos quais depende o funcionamento da ventilação, identificados no exemplo da Figura 3.12. Utilizando programação em linguagem *Ladder*, no *software TIA Portal*, desenvolvem-se os algoritmos que indicam se os equipamentos estão disponíveis ou indisponíveis. Para o funcionamento adequado da ventilação é necessário verificar uma panóplia de disponibilidades relativas aos equipamentos utilizados, tais como disjuntores, relés, arrancadores suaves, entre outros. Todos estes, uma vez conjugados, definem sempre que necessário quais os ventiladores disponíveis e qual a direção disponível para o seu funcionamento.

A Figura 4.12 apresenta as condições que definem a disponibilidade dos ventiladores 1.1 e 1.2. Através da conjunção dos diferentes dispositivos que compõem o circuito de alimentação dos ventiladores 1.1 e 1.2, define-se a disponibilidade na “DB Disponibilidade”, Anexo C. O mesmo processo repete-se para outros equipamentos de comando.

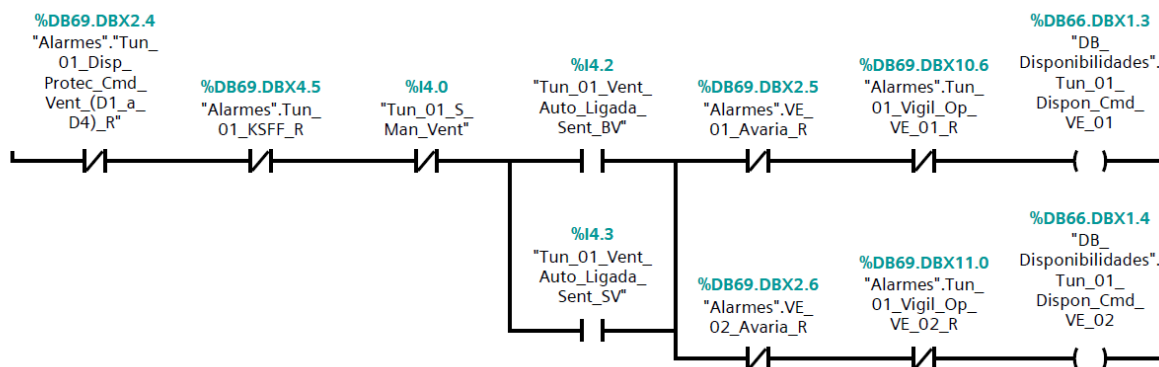


Figura 4.12 – Função “Disponibilidade de comando”, ventiladores 1.1 e 1.2.

Para a iluminação e semáforos utiliza-se a mesma metodologia, que consiste no levantamento dos equipamentos presentes no circuito de ativação e, desta forma, é desenvolvido um algoritmo que permite conjugar as disponibilidades dos equipamentos, para automatização da iluminação. A informação sobre a disponibilidade de cada equipamento é guardada na “DB Disponibilidade”, presente no Anexo C.

4.1.3 Automatização da iluminação

A iluminação em toda a infraestrutura subdivide-se por secções, como secção exterior, interior, galerias, na transição do exterior para interior e vice-versa.

4.1.3.1 Iluminação nas transições

Desenvolve-se uma função para o controlo dos circuitos de iluminação nas extremidades do túnel, sendo o nível de luminância alterado de acordo com os valores obtidos do sensor luminancímetro, apresentado na seção 3.3.2.

Inicialmente desenvolve-se uma DB com nome de “Param_Ilum_Sensors”, apresentada no Anexo D, servindo esta para alocar toda a informação necessária que depois é utilizada para definir os parâmetros das funções e também para guardar informação dos circuitos a ativar ou não ativar.

Posteriormente desenvolvem-se as funções “Iluminacao_lado_BV” e a “Iluminacao_lado_SV”, estando representada na Figura 4.13 o lado Boaventura, sendo que para o lado São Vicente o bloco é igual, mudando as entradas e saídas.



Figura 4.13 – Bloco da iluminação nas transições das extremidades do túnel.

Estas duas funções são iguais, sendo uma utilizada para a extremidade do lado Boaventura do túnel e outra utilizada para outra extremidade do túnel do lado de São Vicente. Dentro desta

função utilizam-se três *networks*, sendo primeira para leitura dos valores obtidos pelo o luminômetro e conversão dos valores inteiros para reais, presente na Figura 4.14.

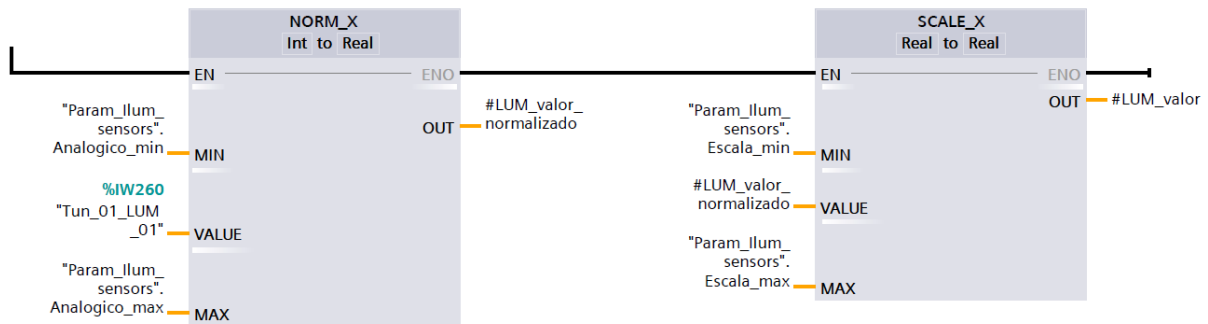


Figura 4.14 – Função “Iluminacao_lado_BV” – *Network 1*, leitura do luminômetro e normalização.

Após conversão para valores reais, são normalizados para uma escala pretendida, indicada na seção 3.5.6 para posterior tratamento.

A *network 2* representa a definição do *setpoint* de acordo com os níveis de luminância. Para isso utiliza-se o valor normalizado representado por “LUM_valor” presente na Figura 4.14 e segundo a Tabela 3.1 apresentada na seção 3.3.2, define-se o *setpoint* de 0 até 4. O algoritmo desenvolvido é o seguinte:

```
"Valores_sensores_reais_e_setpoint"."Luminancimetro_T1.1" := #LUM_valor;
IF #LUM_valor >="Param_Illum_sensors"."nivel4_T1.1" THEN
    #setpoint_LUM := 4
END_IF;
IF #LUM_valor >="Param_Illum_sensors"."nivel3_T1.1" AND
#LUM_valor <"Param_Illum_sensors"."nivel4_T1.1" THEN
    #setpoint_LUM := 3
END_IF;
IF #LUM_valor >="Param_Illum_sensors"."nivel2_T1.1" AND
#LUM_valor<"Param_Illum_sensors"."nivel3_T1.1" THEN
    #setpoint_LUM := 2
END_IF;
IF #LUM_valor >="Param_Illum_sensors"."nivel1_T1.1" AND
#LUM_valor < "Param_Illum_sensors"."nivel2_T1.1" THEN
    #setpoint_LUM := 1
END_IF;
IF #LUM_valor >="Param_Illum_sensors".Escala_min AND
#LUM_valor < "Param_Illum_sensors"."nivel1_T1.1" THEN
    #setpoint_LUM := 0
END_IF;
IF #LUM_valor <"Param_Illum_sensors".Escala_min THEN
    #setpoint_LUM := 0 ;
END_IF;
```

Por fim, cria-se uma função “Iluminacao_rodas”, sendo responsável por toda a automatização do sistema de iluminação, caracterizada pela *network 3*.

Desenvolve-se esta função com objetivo de garantir os critérios supracitados na Tabela 3.1 na seção 3.3.2., com a particularidade de haver rotatividade na utilização dos circuitos, de forma a haver um equilíbrio no desgaste das lâmpadas. Considera-se ainda a possibilidade de

indisponibilidade de algum circuito, sendo este substituído de imediato por outro, garantindo os critérios definidos na Tabela 3.1.

Apresenta-se na Figura 4.15 o fluxograma da função “Iluminacao_roda”, e posteriormente explicação da implementação e funcionamento. As variáveis de entrada, de saída e temporais utilizadas, juntamente com as descrições dos algoritmos de cada *network*, podem ser consultadas no Anexo E.

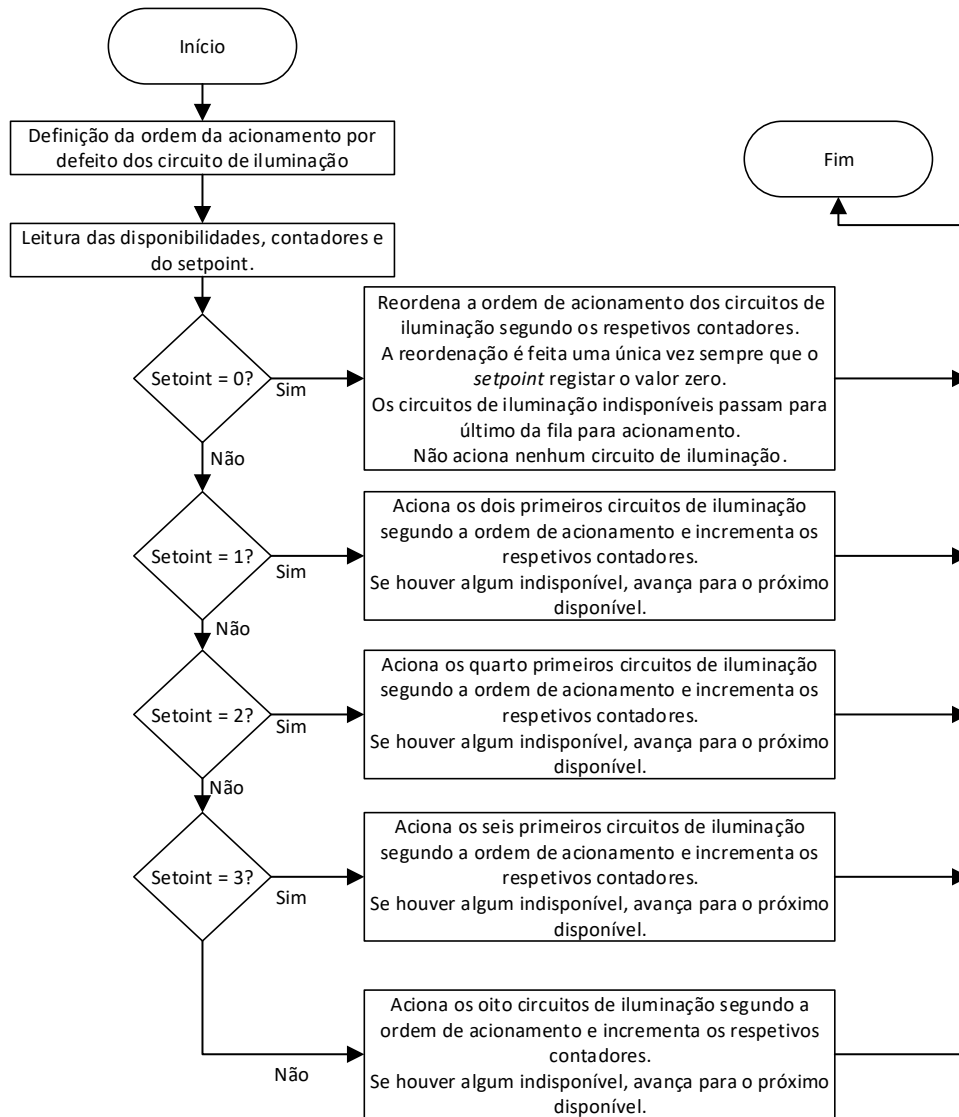


Figura 4.15 – Fluxograma da função “Iluminacao_roda”.

Esta função está subdividida em nove *networks*, começa-se por ler a disponibilidade correspondente aos 4 circuitos de iluminação, sendo que cada um contém dois níveis de potência, 200 W e 400 W, respetivamente. Associam-se as variáveis de cada circuito de iluminação a 50 % e 100 % em dois *array* (presentes na Tabela E.1 no Anexo E, identificados pela *network* 1 – Disponibilidade dos diferentes circuitos de iluminação) por ordem crescente, uma para cada nível de potência, de forma a poder compará-los e indicar quais são os que ligam.

A segunda *network*, Anexo E, organiza a ordem de arranque de cada circuito de iluminação por prioridades para as próximas ativações. Utilizam-se os dois *arrays* associados à disponibilidade, juntamente com mais 4 *arrays*, dois utilizados para representar o índice de cada circuito e os outros dois para representar o estado de cada circuito, *ON/OFF*. Efetua-se uma leitura do número de utilizações dos circuitos e de acordo com essa leitura os *arrays* são organizados em ordem crescente e, simultaneamente, os *arrays* do índice e do estado alteram a sua posição de acordo com os *arrays* dos contadores de cada circuito. Na Figura 4.16 está presente um fluxograma da *network 2*, responsável por organizar a próxima ordem de ativação.

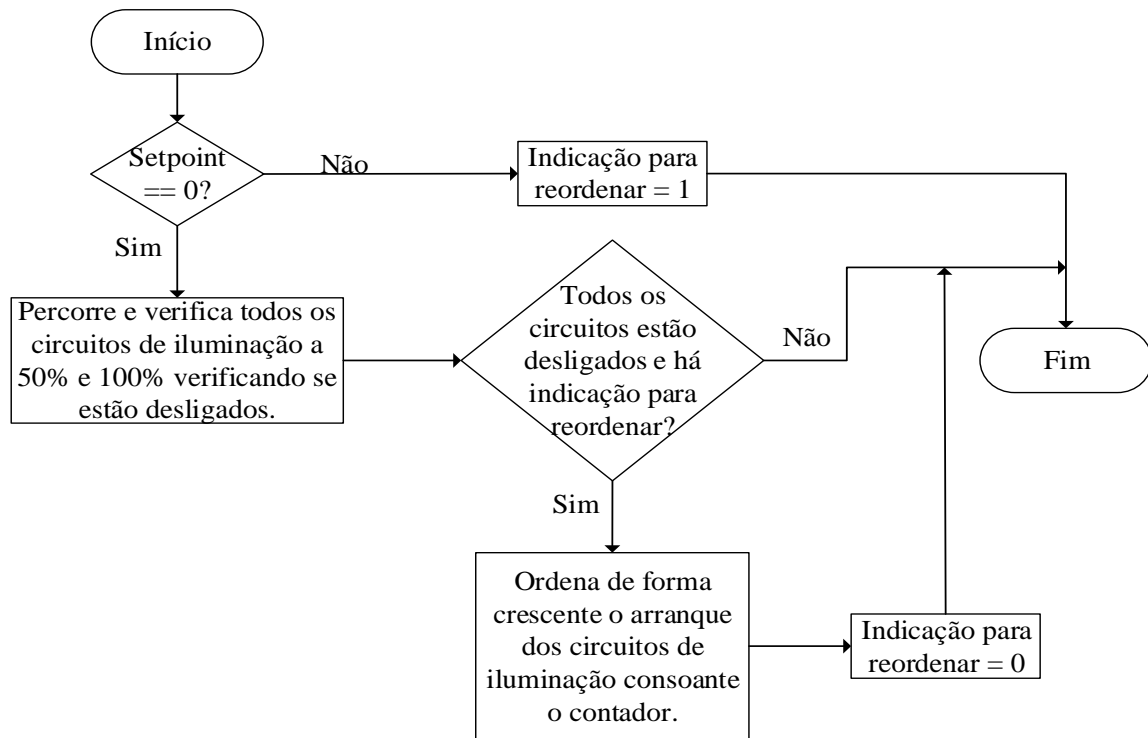


Figura 4.16 - Fluxograma da função responsável pelo reordenamento dos sistemas de iluminação por prioridades.

Toda a reorganização das posições só é efetuada quando o *setpoint* corresponde ao valor inteiro ‘0’ juntamente com a confirmação de que todos os circuitos estão desligados. O código implementado pode ser consultado no Anexo E.

A terceira *network* ordena a disponibilidade com base no índice dos circuitos de iluminação ordenados pela segunda *network*. É criado com dois *arrays* para indicar quais os circuitos disponíveis, com base nos *arrays* que indicam os índices correspondentes a cada circuito. O código encontra-se no Anexo E, *network 3*.

A quarta *network* é usada para verificar o estado da automatização, ou seja, existe a possibilidade do *setpoint* ser introduzido manualmente através do HMI para questões de simulação sobrepondo-se ao valor experimental. Caso contrário, se este estiver em avaria o *setpoint* é definido com o nível 2. O código encontra-se no Anexo E, *network 4*.

Em seguida, na *Network 5*, desenvolve-se um algoritmo para verificar o nível do *setpoint* e quantos circuitos de iluminação vão ligar sendo estes acionados ou não através dos *arrays*

correspondentes ao estado de cada circuito. Na Figura 4.17 apresenta-se o fluxograma do algoritmo desenvolvido.

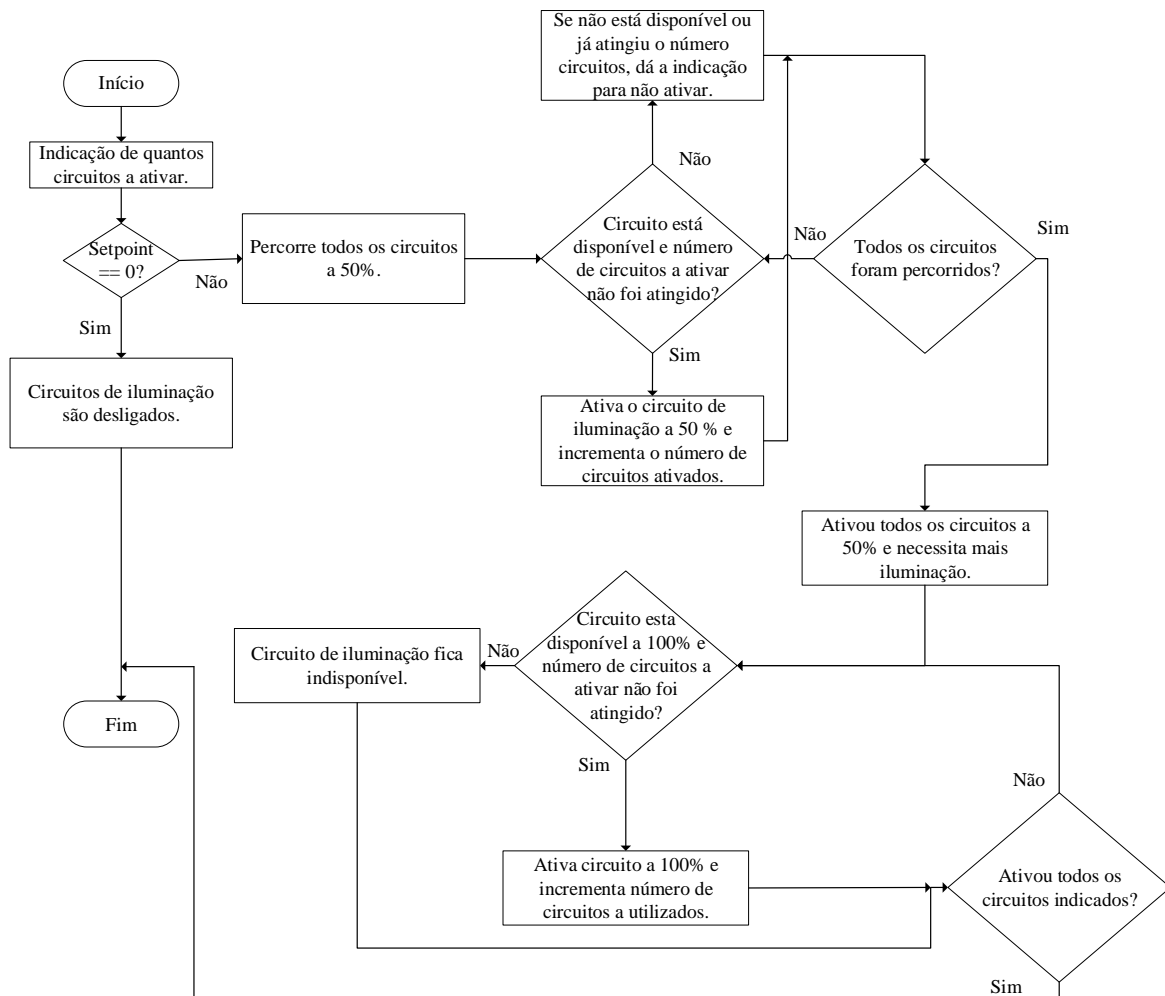


Figura 4.17 – Fluxograma da indicação dos circuitos que serão acionados segundo o nível de *setpoint*.

Posteriormente, na *network 6*, criaram-se mais dois *arrays* responsáveis por guardar e ativar os diferentes circuitos. Os *arrays* que contêm o índice e o estado provisório de cada circuito são percorridos e após encontrar o índice correspondente a cada circuito são copiados os estados provisórios para os *arrays* que correspondem ao estado final. O código pode ser consultado no Anexo E, *network 6*.

A *network 7* efetua a leitura das horas de funcionamento de cada circuito que estão em valores reais e são convertidos para inteiros, atualizando as variáveis correspondentes na DB, Anexo F, sendo utilizadas para a próxima reordenação dos acionamentos dos circuitos de iluminação, como é possível observar no exemplo da Figura 4.18.

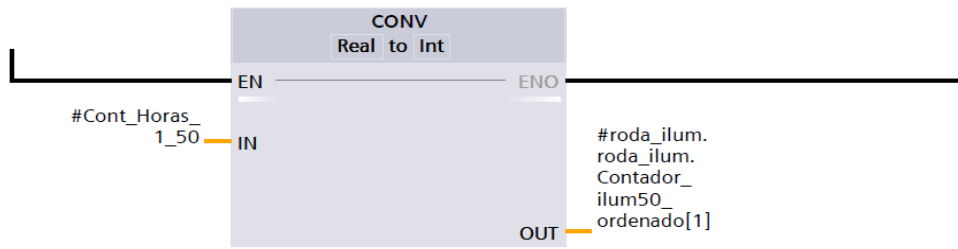


Figura 4.18 - Conversão de real para inteiro para o primeiro circuito de iluminação a 50%.

Ainda na função “Iluminação_rodas” criaram-se mais duas *networks*, a 8 e a 9. A *network* 8 é responsável por procurar em que posição do *array* está cada contador e atualiza-o. Por fim, na última *network*, consta a leitura dos *arrays* correspondentes aos estados finais de cada circuito, ativando ou não o circuito correspondente.

4.1.3.2 Iluminação exterior e galeria

Para a iluminação exterior e das galerias desenvolve-se uma função com nome de “Iluminacao_Exterior_Galerias”, Figura 4.19, cujo objetivo consiste em ativar os circuitos de iluminação no exterior durante a noite, e ainda ligar a iluminação nas galerias, na presença de alguém aquando da deteção de movimento ou em situação de incêndio.



Figura 4.19 – Função “Iluminacao_Exterior_Galerias”.

Apresenta-se na Figura 4.20 um fluxograma do algoritmo da iluminação do exterior e da galeria.

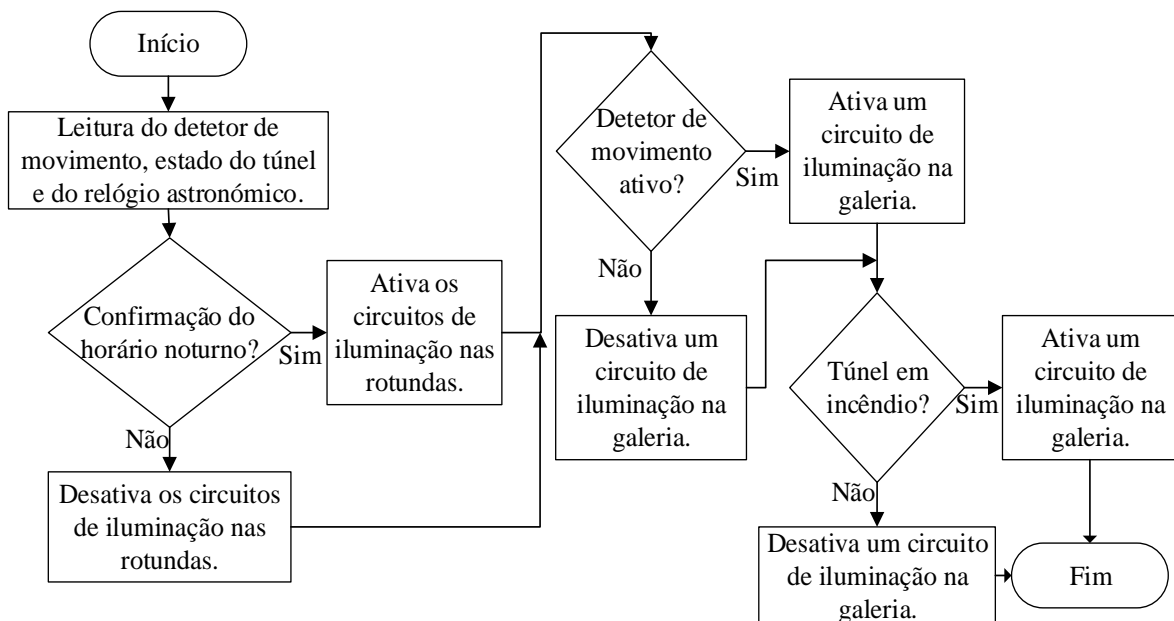


Figura 4.20 – Fluxograma da função “Iluminacao_Exterior_Galerias”.

Ativa-se a iluminação exterior na rotunda, com base no booleano recebido (“LGF_Astro_DB”.daytime) da função astronómica, que indica o valor lógico ‘0’ no período noturno. A Figura 4.21 mostra o programa desenvolvido em *Ladder*.

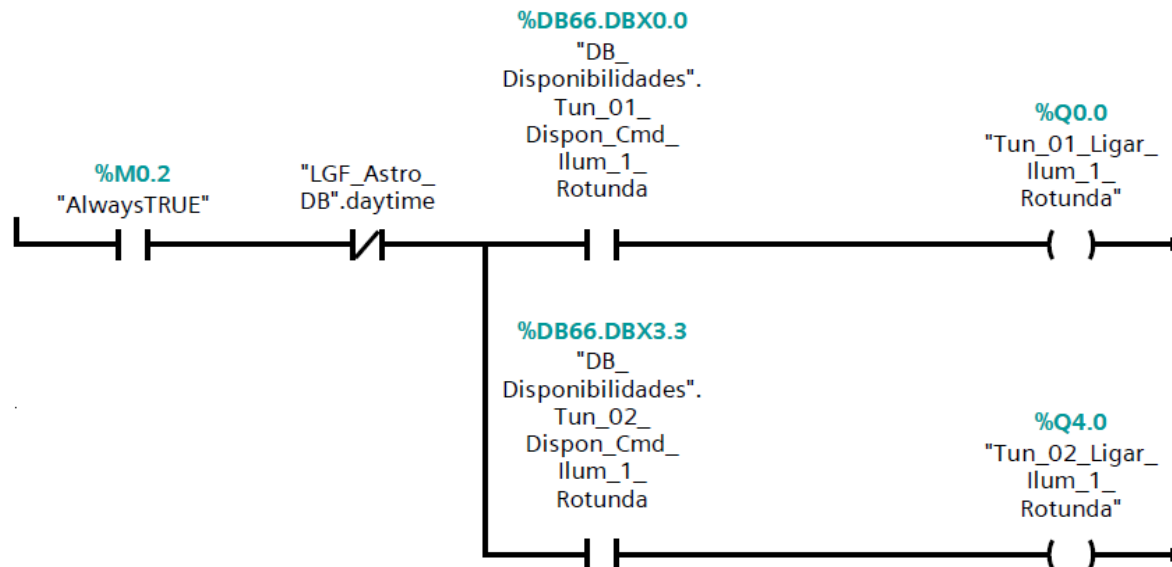


Figura 4.21 – Ativação da iluminação no exterior (rotundas).

Seguidamente para a iluminação da galeria efetua-se a leitura constante dos detetores de movimento e aplica-se um *TimerOff*, que funciona durante quinze minutos. Após o seu término desativa-se, colocando a saída no valor lógico ‘0’, Figura 4.22.

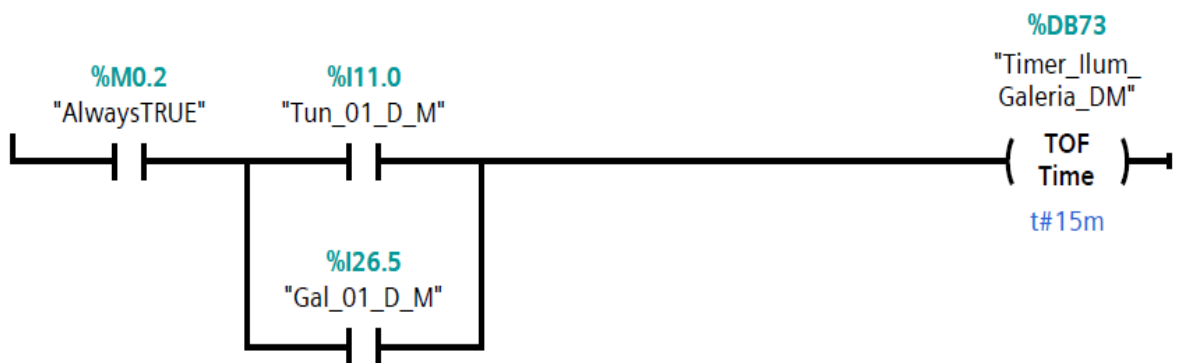


Figura 4.22 – Temporização para ativação da iluminação na galeria segundo os detetores de movimento.

Posteriormente, desenvolve-se um programa que consiste em ativar os circuitos de iluminação na galeria. Existem três circuitos de iluminação na galeria: um está constantemente ligado, se estiver disponível e os outros dois funcionam como redundante um do outro. São acionados pelos detetores de movimento quando estes detetam alguém ou se houver incêndio dentro do túnel, o que pressupõe a ativação da iluminação do percurso da galeria de emergência para os peões se deslocarem de forma segura até ao exterior. A Figura 4.23 mostra o algoritmo desenvolvido para ativação dos circuitos E1, E2 e E3 instalados na galeria de emergência.

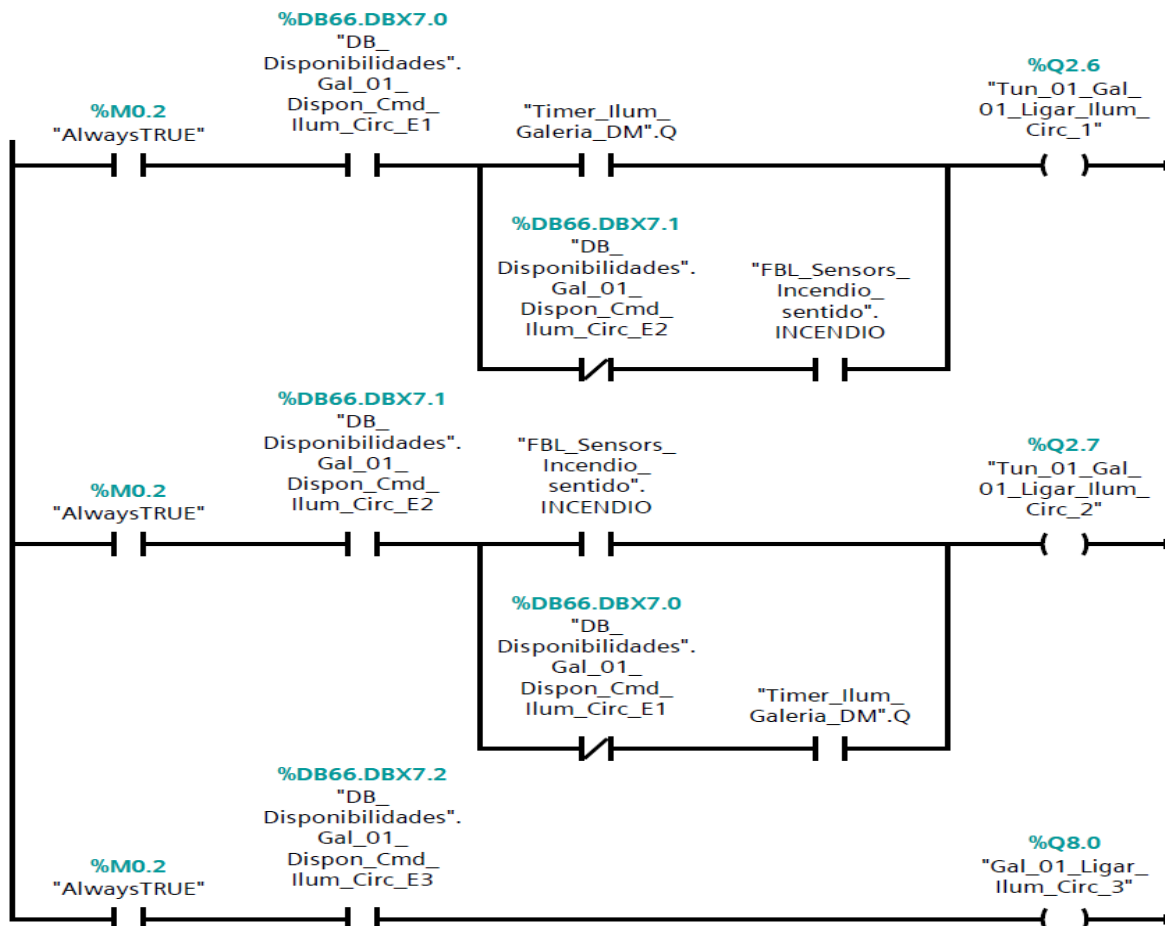


Figura 4.23 – Ativação dos circuitos de iluminação da galeria.

4.1.4 Semáforos

A gestão da circulação de viaturas no túnel faz-se com semáforos nas duas extremidades. Para o controlo dos semáforos é desenvolvida uma função que verifica a disponibilidade dos circuitos dos semáforos. De acordo com o estado do túnel, ativa o sinal a verde ou a vermelho. Apresenta-se na Figura 4.24 um fluxograma da função “Semáforos”.

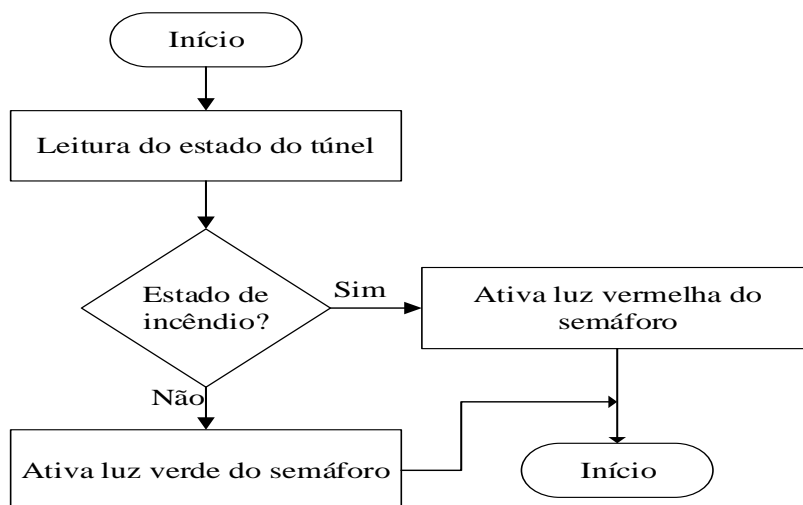


Figura 4.24 – Fluxograma da função “Semáforo”.

Criou-se a função “Semáforos”, estando representada na Figura 4.25 o lado Boaventura, sendo que para o lado São Vicente o bloco é igual, mudando as entradas e saídas.

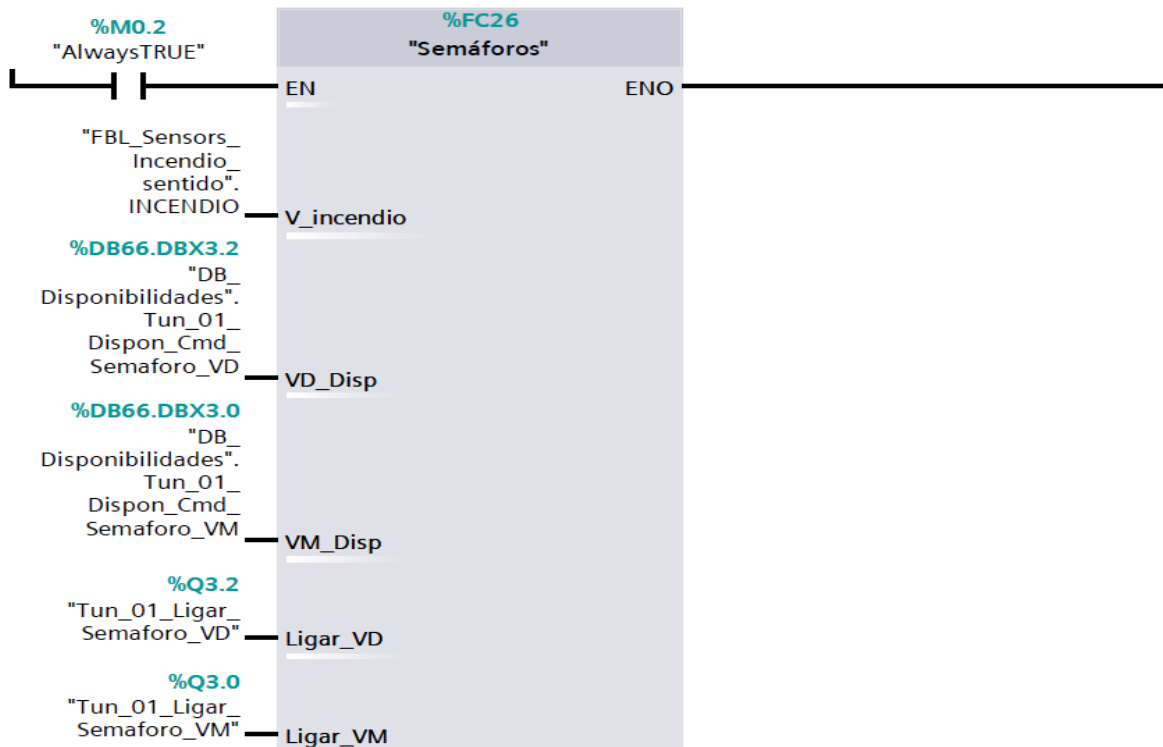


Figura 4.25 – Função “Semáforos”.

Esta função é dimensionada para manter a luz verde do semáforo ativa no funcionamento normal do túnel. Em situação de incêndio a função coloca os semáforos a vermelho, proibindo a entrada de carros. A Figura 4.26 mostra o programa desenvolvido, em *Ladder*, da função “Semáforos”.

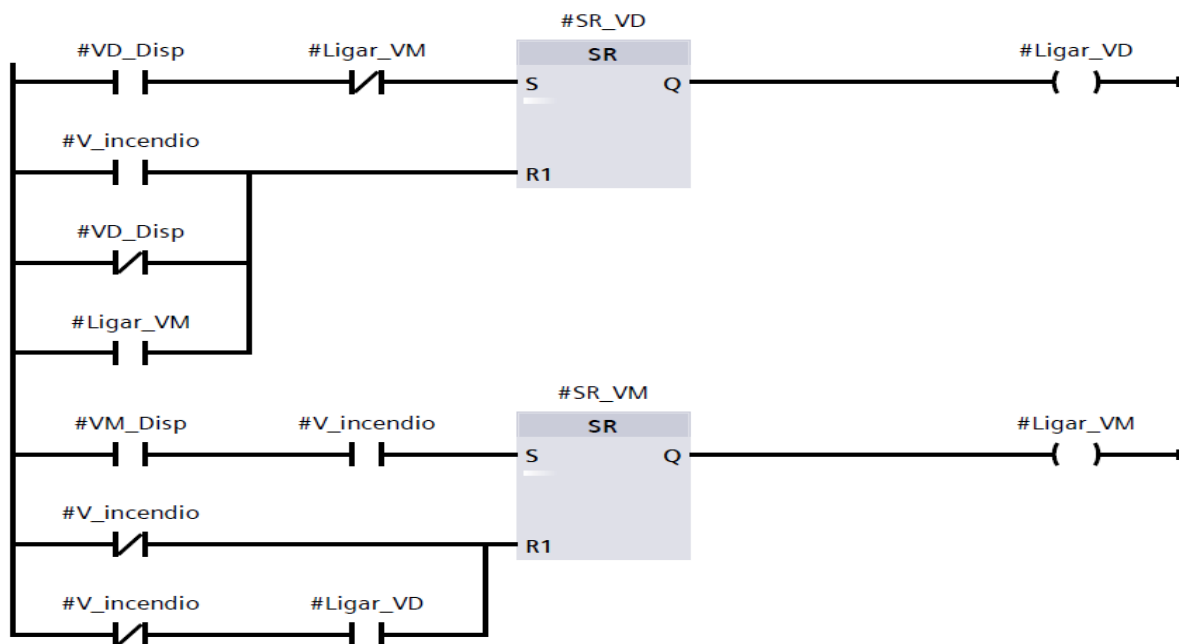


Figura 4.26 – Função “Semáforo”, ativação das diferentes cores.

A Figura 4.26 mostra como é ativada a cor pretendida do semáforo, garantido que não há mais do que uma cor ativa ao mesmo tempo. Em caso de ativação manual de uma das cores dos semáforos, por alguém responsável pela manutenção, ambas as cores ficam indisponíveis no programa, garantindo assim a não há sobreposição de comandos.

4.1.5 Automatização da ventilação

Para a ventilação desenvolve-se uma função com o nome “Ventilação” inserida na função principal da Figura 4.1. Esta função tem como objetivo fazer a leitura dos diferentes sensores e, com base nessa leitura, definir o estado do túnel. De acordo com o estado do túnel, o programa desencadeia uma série de ações de forma a conjugar a ativação de diferentes ventiladores.

No fluxograma geral da Figura 4.27 apresenta-se a explicação da implementação do código para automatização dos ventiladores.

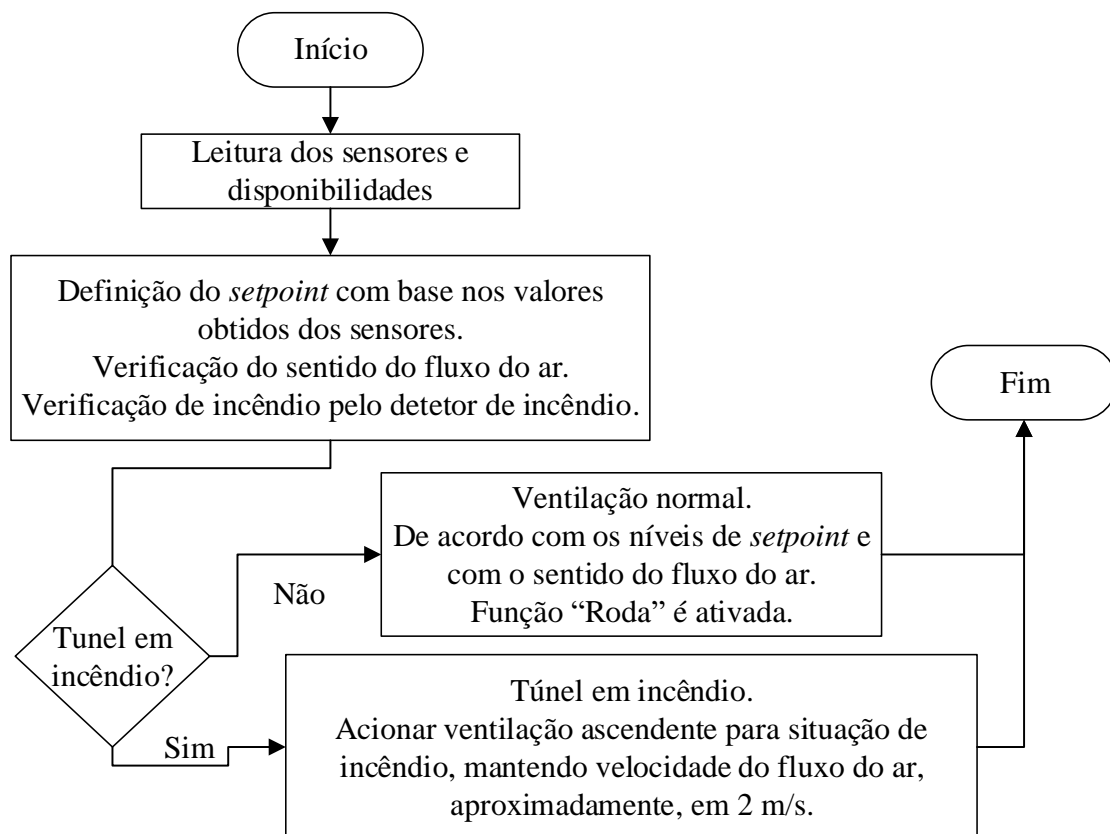


Figura 4.27 – Fluxograma da função “Ventilação”.

Nesta seção são implementadas 9 *networks* que são descritas nos subtópicos seguintes, sendo elas:

1. Leitura dos sensores CO e visibilidade, bem como a definição do *setpoint* com base nessa leitura, através dos intervalos definidos na seção 3.6.2;
2. Leitura dos valores (*bits*) fornecidos pelo detetor de incêndio e indicação da zona de incêndio, seção 3.5.5;

3. Verificação de incêndio;
4. Leitura do anemômetro, velocidade e sentido do fluxo do ar;
5. Ativação do sentido da ventilação no PST1;
6. Ativação do sentido da ventilação no PST2;
7. Funcionamento da ventilação na situação de incêndio;
8. Funcionamento da ventilação na situação normal;
9. Comando do arranque dos ventiladores.

4.1.5.1 Leitura dos sensores e definição do *setpoint*

Com base no fluxograma da Figura 4.27, desenvolvem-se outras funções que são executadas dentro da função “Ventilação”. Na primeira *network*, da função “Ventilação” introduz-se uma função responsável por ler os sensores dos gases poluentes e definir o *setpoint* da ventilação com base nos intervalos supracitados no seção 3.6.2.

O fluxograma presente na Figura 4.28 ilustra as condições e funções implementadas para realizar o automatismo desde a leitura dos sensores até à atribuição do nível de *setpoint* numa situação real ou de simulação e a indicação de incêndio.

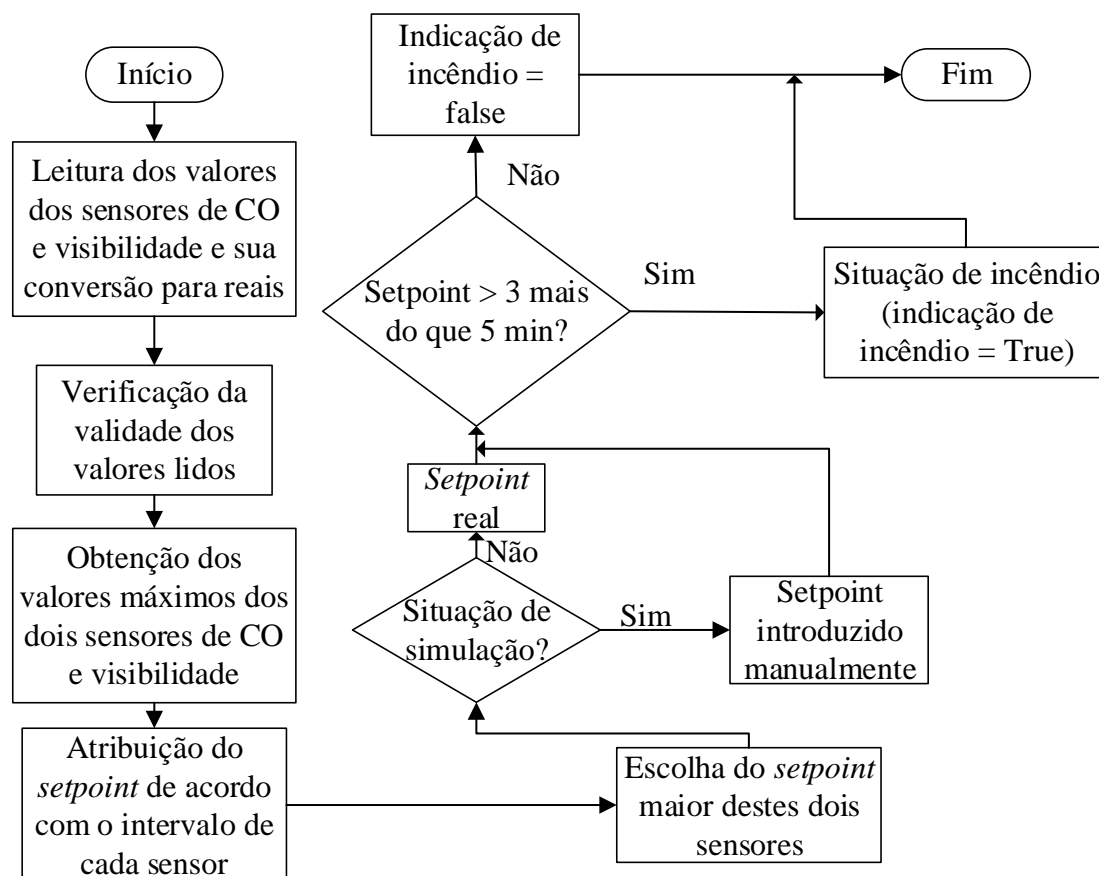


Figura 4.28 – Fluxograma da primeira *network* da função “Ventilação”.

O primeiro bloco do fluxograma é responsável por fazer a leitura dos diferentes sensores e normalizar os valores para a escala pretendida, segundo o que está definido na seção 3.5.3. Posteriormente, efetua-se uma verificação da validade dos valores obtidos a partir dos sensores,

isto é, os sensores para além do sinal analógico, contêm também um sinal digital que indica a sua validade, representado na Figura 3.14.

Depois aplica-se a função “MAX” para calcular o valor máximo entre os dois sensores de CO e entre os dois sensores de visibilidade. De acordo com o máximo obtido, define-se o *setpoint* de CO e visibilidade, com base nos intervalos definidos na seção 3.6.2.

Após a obtenção do *setpoint* de CO e do *setpoint* da visibilidade cria-se um bloco que faz uma comparação entre o *setpoint* da visibilidade e do CO, ficando apenas com o máximo dos dois. Em seguida, e consoante o estado de simulação ou funcionamento normal, valida o *setpoint* obtido pelo programa em relação a ambos os sensores ou então o *setpoint* é introduzido manualmente pelo utilizador no *display* (simulação). A Figura 4.29 mostra o processo desenvolvido onde é possível observar a variável “Setpoint_simulacao_Vent_on_off”, responsável por indicar se o utilizador ativou ou não o modo simulação no *display*.

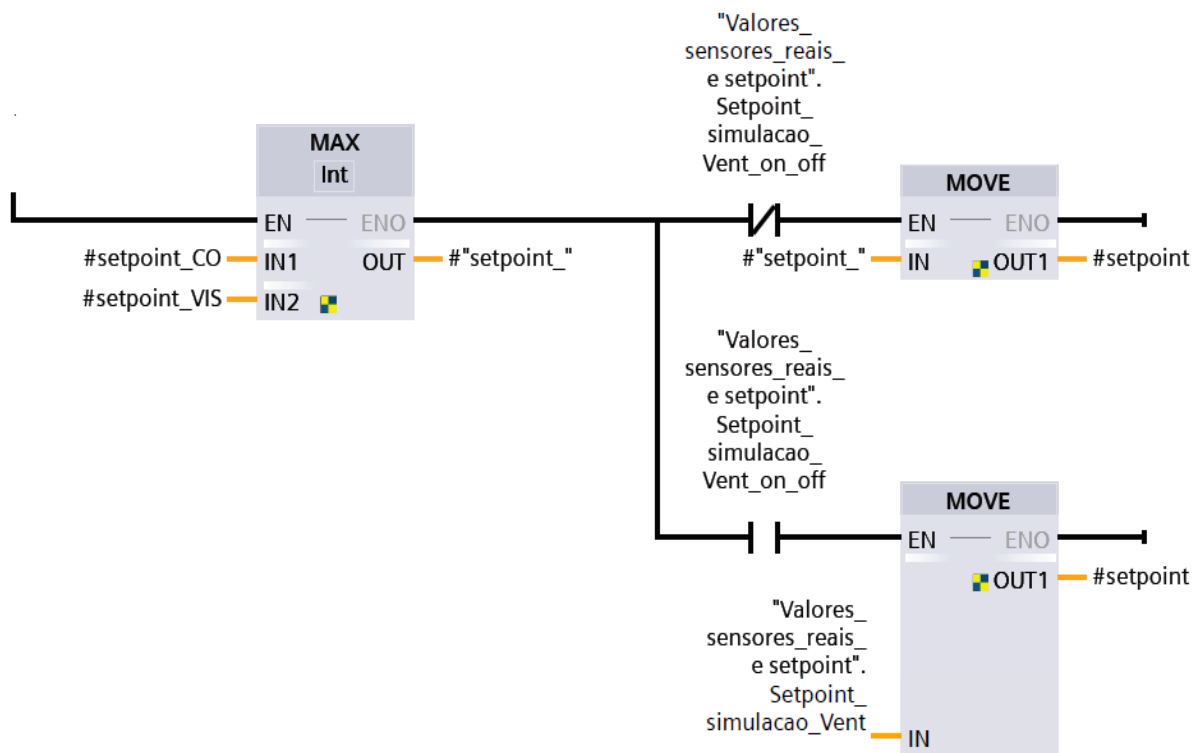


Figura 4.29 – Setpoint manual ou automático pelos sensores.

De forma a verificar se existe ou não incêndio coloca-se um temporizador para monitorizar a variável *setpoint* (quando o nível for superior a 3), indicando se esta mantém o seu valor por tempo superior a 5 min. Se for verificada esta situação o túnel entra no estado de incêndio como é referido na seção 3.6.2.

4.1.5.2 Detetor de incêndio e identificação da zona em caso de incêndio

Esta função tem como objetivo ler o valor binário fornecido pelo detetor de incêndio, representado na Figura 3.16 e converte-lo para decimal. O que irá corresponder à zona de

incêndio, segundo a Tabela 3.4 – Combinações binarias para indicar a zona de incêndio. Tabela 3.4 presente na seção 3.5.5.

Segundo a Figura 3.16, quando o detetor de incêndio identificar a presença de incêndio irá ativar a variável “alarme incendio” sendo que o valor decimal obtido anteriormente irá referenciar a zona do incêndio, monitorizando a sua evolução. A informação referente ao local exato onde o incêndio se iniciou é guardada, até que o túnel retome o estado normal. Com este processo consegue-se garantir que a ventilação é acionada em função da informação sobre o local do início do incêndio. A indicação e a zona de incêndio é também sinalizada no *display* do HMI no centro de controlo.

4.1.5.3 Verificação de incêndio

De acordo com as seções 4.1.5.1 e 4.1.5.2 e de forma a verificar como é detetado o incêndio desenvolve-se um programa em *Ladder* para fazer a leitura dos dois parâmetros, sensores e detetor de incêndio, que indicam a existência ou ausência de incêndio. A Figura 4.30 mostra as duas variáveis responsáveis por indicar o incêndio, sendo a variável “Incendio_sensores” responsável por indicar o incêndio pelos sensores de CO e de visibilidade como supracitado na secção 4.1.5.1. A variável “Incendio_FBL” é responsável por indicar o incêndio detetado pelo detetor de incêndio. Quando uma destas duas variáveis está ligada, então ativa a variável “INCENDIO” que posteriormente é utilizada para indicar se arranca a ventilação para a situação de incêndio ou não.

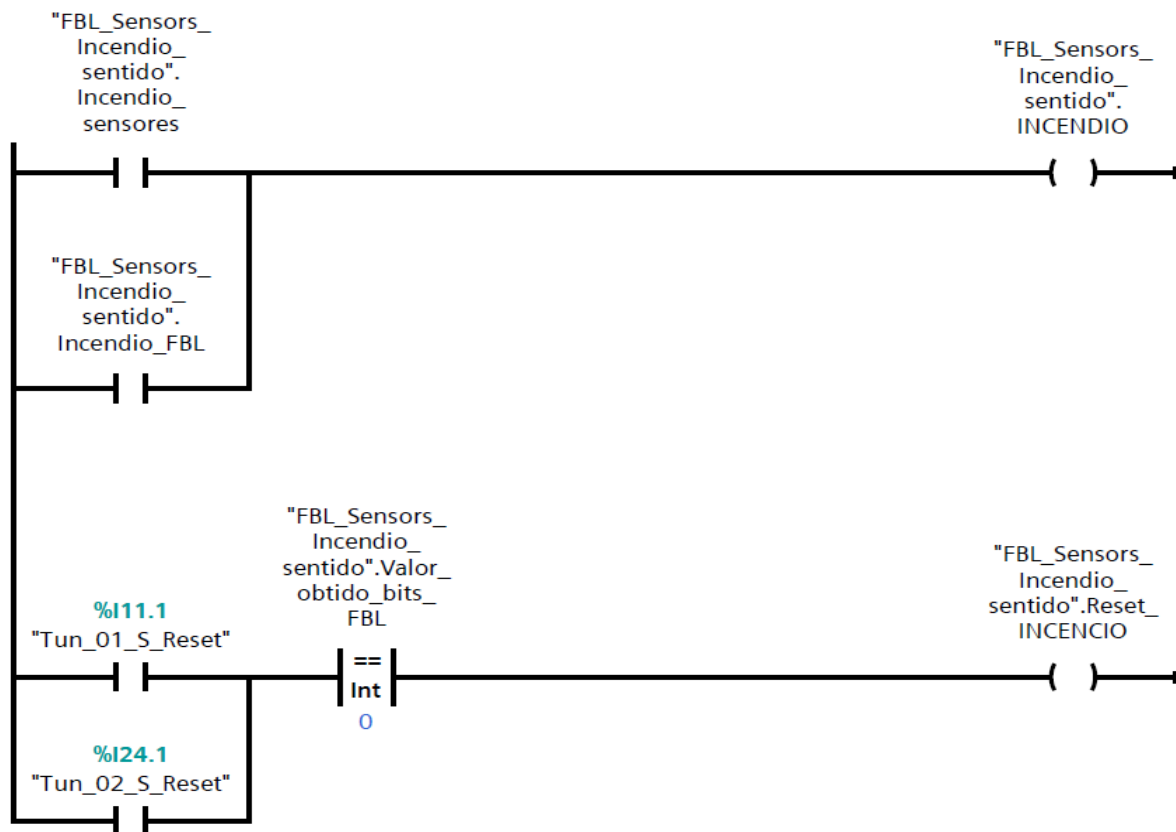


Figura 4.30 – Indicação de incêndio no túnel

Em caso de controlo do incêndio, por parte das entidades competentes, e para o túnel voltar ao estado normal é necessária uma confirmação manual, carregando no botão *reset*, presente no centro dos sistemas de segurança e controlo. Na Figura 4.30 observa-se que o botão *reset*, corresponde às entradas I11.1 ou I24.1, mas de forma a efetuar *reset* na variável “INCENDIO”, ou seja, indicar que o incêndio foi extinto, é necessário também que o valor binário obtido na secção 4.1.5.2 seja zero, garantido assim que o detetor de incêndio já não deteta nenhuma zona em incêndio.

4.1.5.4 Leitura do sentido e velocidade do fluxo do ar

Esta secção é responsável por fazer a leitura do sentido e da velocidade do fluxo de ar no túnel através do valor analógico fornecido pelo anemómetro, representado na Figura 3.15. Com os valores digitais indicados pelo anemómetro, saídas I26.7 e I27.0, define-se o sentido do fluxo do ar e o estado do anemómetro, respetivamente.

De forma a impedir a troca imediata do sentido de rotação dos ventiladores introduz-se um temporizador que irá fazer com que o sistema de ventilação desligue de forma segura e seja ativado no sentido contrário. Esta mudança de sentido deve-se ao sentido do fluxo do ar fornecido pelo anemómetro através da saída I26.7, definido na secção 3.5.4.

4.1.5.5 Ativação do sentido da ventilação

Como já foi referido capítulo 3, metade do túnel é alimentado por um posto de secção e transformação. A outra metade do túnel é alimentado pelo outro posto de secção e transformação, situado nas extremidades do túnel.

Foram criadas duas *networks* cujo objetivo, de ambas, é definir o sentido da ventilação, garantindo assim o funcionamento efetivo, mesmo em caso de avaria num dos postos de transformação.

Cria-se a função “Comando de Sentido” e utiliza-se nas duas metades do túnel, PST1 e PST2. A Figura 4.31 mostra a função “Comando de Sentido” utilizada para o PST1, sendo que temos como entradas a disponibilidade de sentido para Boaventura, disponibilidade de sentido para São Vicente. Obtidos através da “DB disponibilidade”, presente no Anexo C.

O sentido Boaventura e sentido São Vicente que é obtido através do anemómetro na secção 4.1.5.4 e a indicação de incêndio que vem na secção 4.1.5.3. Nas saídas tem-se: o ligar o sentido Boaventura; o ligar o sentido São Vicente, que atuam diretamente no relé temporizado, como ilustra a Figura 3.11. Esta mesma função é utilizada para o PST2, sendo alteradas as entradas e as saídas.

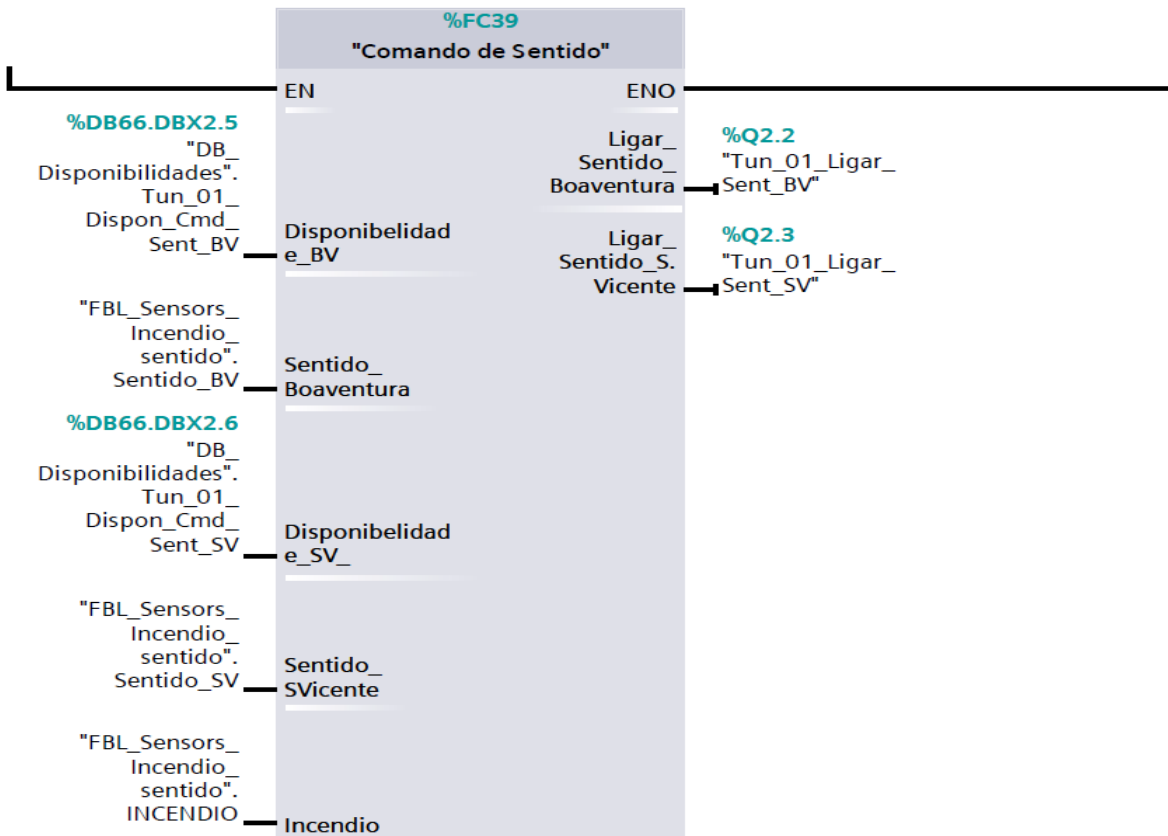


Figura 4.31 – Função “Comando de Sentido” para PST1.

De uma forma mais detalhada esta função contém duas *networks*, sendo a primeira, a da Figura 4.32, responsável por ativar o sentido da ventilação para o lado do túnel correspondente a Boaventura (ascendente), após confirmação da disponibilidade de sentido para Boaventura, a não confirmação de incêndio, confirmação do sentido Boaventura ativado pelo anemómetro e sentido São Vicente desativado. Outra forma de ativar o sentido da ventilação para a direção Boaventura consiste na confirmação da disponibilidade, quando a situação de incêndio se verifica. Para que seja feito *reset*, basta que não se confirme a disponibilidade ou se o sentido São Vicente estiver ativo para que não haja sobreposição.

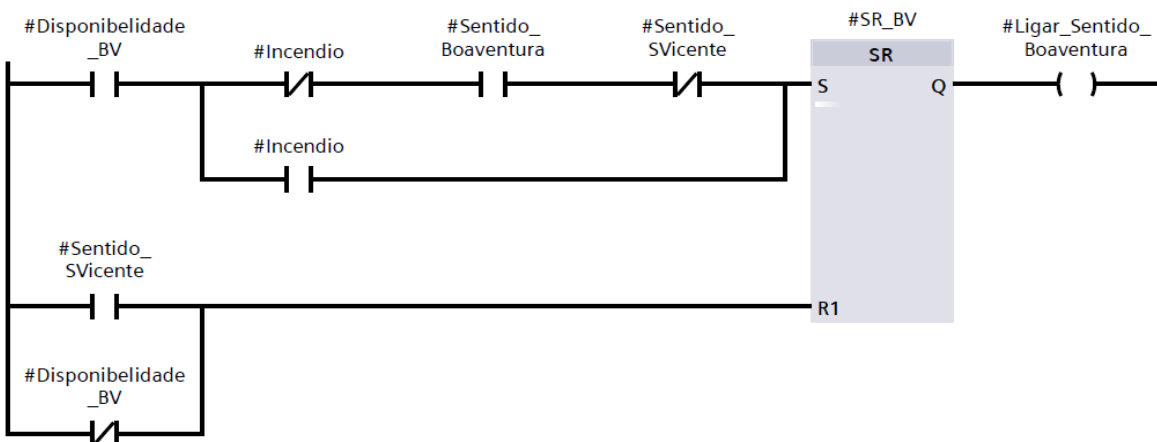


Figura 4.32 – Função “Comando de Sentido” – ativação da ventilação no sentido Boaventura.

A Figura 4.33 mostra a segunda *network* que é responsável por ativar o sentido da ventilação para o lado descendente (sentido de São Vicente) após confirmação disponibilidade de sentido para São Vicente, a não confirmação de incêndio, a confirmação do sentido São Vicente ativado pelo anemómetro e a confirmação de sentido Boaventura desativado. Para desativar o sentido da ventilação para o lado de São Vicente é necessário que não haja disponibilidade de sentido ou perda de sentido ou confirmação de situação de incêndio.

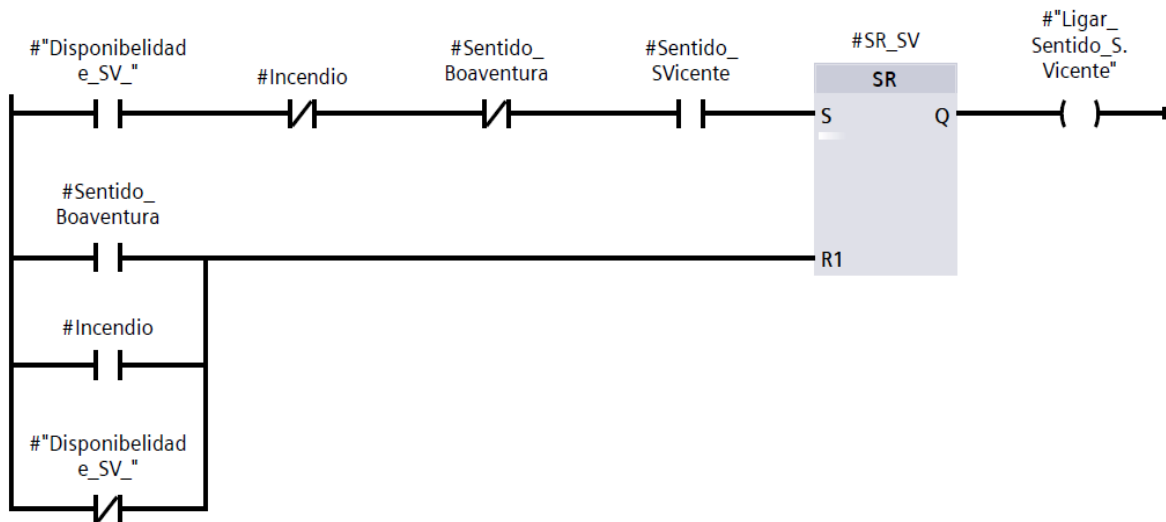


Figura 4.33 – Função “Comando de Sentido” – ativação da ventilação no sentido São Vicente.

4.1.5.6 Ventilação em situação de incêndio

Em situação de incêndio a ventilação deverá funcionar no sentido ascendente como explicado na secção 3.6.3. Desta forma, desenvolve-se a função “Ventilacao_Incendio” que só é executada na totalidade em situação de incêndio.

Esta função consiste em ativar a ventilação no sentido ascendente (São Vicente para Boaventura) de forma sincronizada. Isto é, a ventilação é acionada do ponto mais longínquo (lado São Vicente) até à zona mais próxima do incêndio e posteriormente arranca o ventilador mais longe da zona do incêndio (lado de Boaventura) até à própria zona de incêndio. Verifica-se em simultâneo a velocidade do fluxo do ar no túnel, garantindo que a mesma não ultrapassar os 2 m/s. A Figura 4.34 ilustra o fluxograma da função “Ventilacao_Incendio” que entra em funcionamento quando é detetado incêndio no interior do túnel.

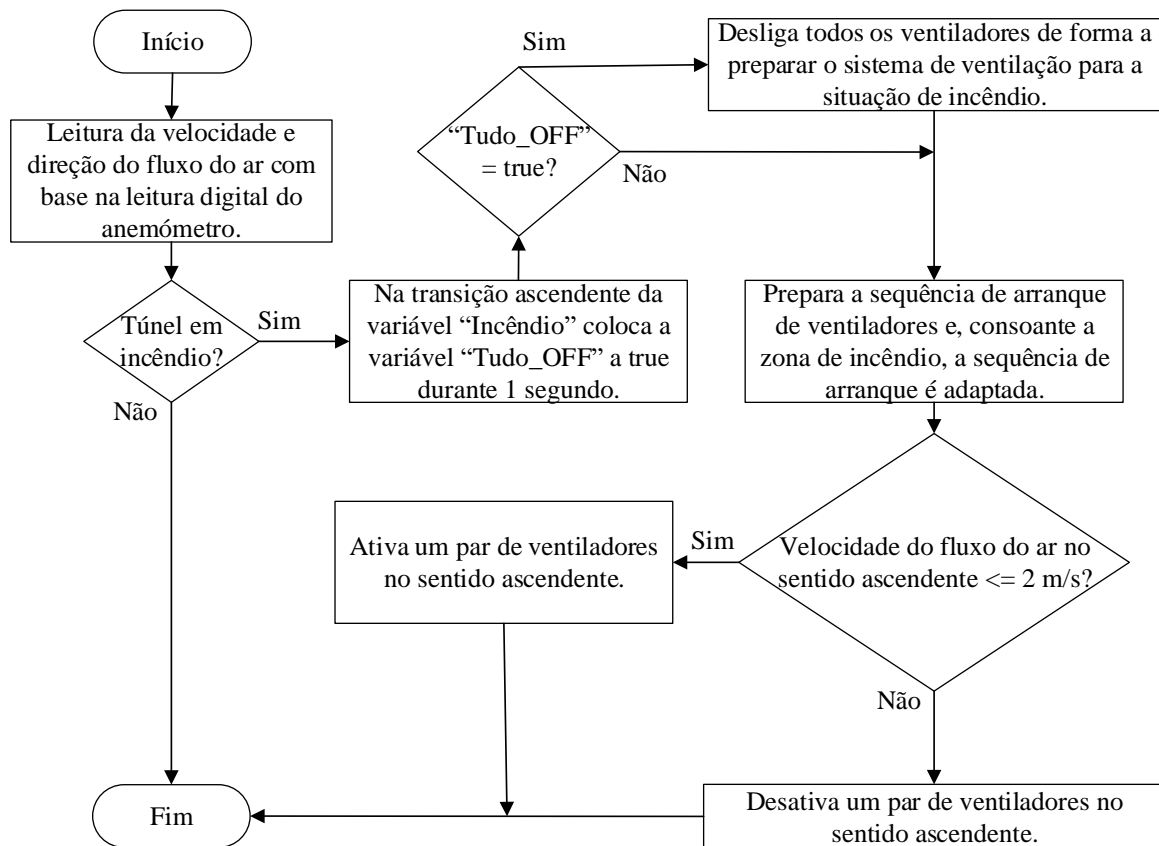


Figura 4.34 – Fluxograma da função “Ventilacao_Incendio”.

Numa fase inicial é recolhido o valor correspondente à velocidade do fluxo do ar (variável “Anemometro”) e este é multiplicado por 1 (variável “Sentido_Digital” igual a *true*) ou por -1 (variável “Sentido_Digital” igual a *false*), sendo que o valor positivo representa a velocidade no sentido ascendente (São Vicente para Boaventura) e o valor negativo representa a velocidade no sentido descendente (Boaventura para São Vicente). Esta função é implementada da seguinte forma:

```

IF #Sentido_Digital = FALSE THEN
    #Anemometro := #Valor_Anemometro * -1;
ELSE
    #Anemometro := #Valor_Anemometro;
END_IF;
  
```

Posteriormente, é feita uma verificação do estado do túnel e se houver confirmação da condição de incêndio, todos os ventiladores são desligados de forma a que não haja sobreposição de comandos e, assim, é preparado o acionamento da ventilação no sentido ascendente, sincronizadamente. A Figura 4.35 mostra a variável “INCENDIO” responsável por indicar a situação de incêndio. Em seguida utiliza-se uma função “P_TRIG” que fornece um impulso à função “MOVE”, sempre que houver a transição de *false* para *true* na variável “INCENDIO”. A função “MOVE” ao receber o impulso é ativada no período positivo desse impulso e move o conteúdo da variável “Estado_pares_incendio” (array com valor zero escrito nas 8 posições) para a variável “Estado_Pares” (array responsável por escrever nas saídas do PLC, para ativar e desativar os ventiladores).

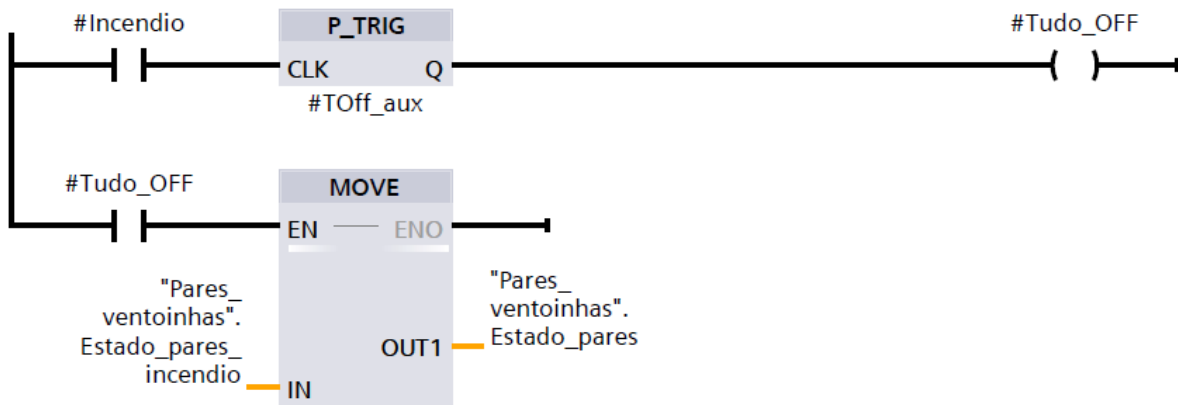


Figura 4.35 – Função “Ventilacao_Incendio” – verificação do estado da ventilação.

Posteriormente, cria-se outra *network*, responsável por indicar quantos ventiladores são ativos. A Figura 4.36 mostra a sequência de condições implementada para a ativação ou desativação dos pares de ventiladores. Para a ativação de um par é necessário que a variável “Incendio” esteja a *true*, em seguida confirma se o sentido da ventilação está ativo no sentido São Vicente para Boaventura. Para tal a variável “Sentido_BV” deverá estar ativa e a variável “Sentido_SV” desativa. Após confirmar estas condições, faz a verificação da velocidade do fluxo do ar e se for inferior a 2 m/s faz o *set* na posição correspondente do array “Quais arrancam” para posterior indicação que deve arrancar um par de ventiladores. Os restantes pares de ventiladores seguem da mesma forma, de forma encadeada, confirmando sempre a ativação do anterior. No processo de desativação é confirmado se o par posterior já está desligado e juntamente com a confirmação da velocidade superior a 2 m/s desativa um par de ventiladores.

De forma a assegurar uma velocidade de 2 m/s a ativação e desativação dos pares de ventiladores é feita desfasadamente com os temporizadores. Com isto, sempre que é ativado um par de ventiladores a velocidade do fluxo irá aumentar, mas não de forma instantânea e por conseguinte é necessário algum tempo para o anemómetro ler os valores corretos da velocidade do ar.

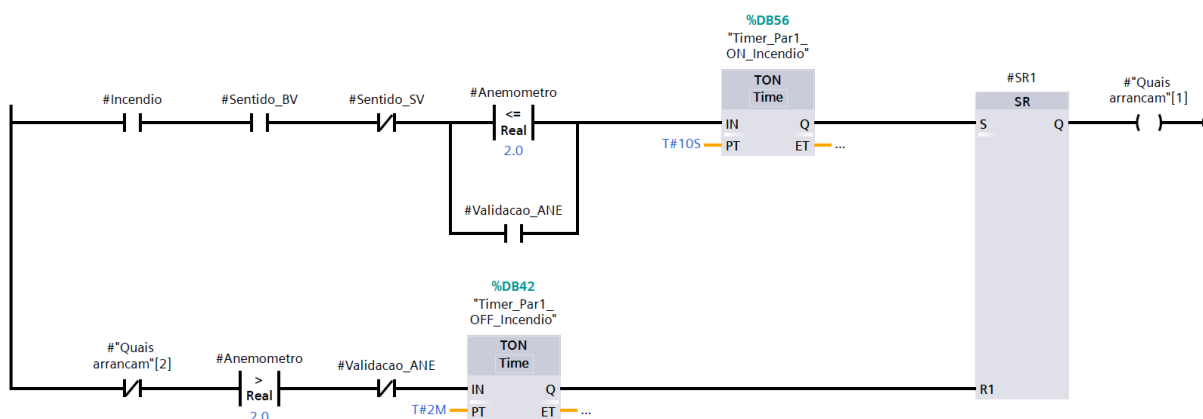


Figura 4.36 – Função “Ventilacao_Incendio” – Networks 3, arranque e paragem da ventilação de forma a garantir uma velocidade de aproximadamente de 2 m/s.

Na última *network* tem-se a atribuição da sequência de arranque de acordo com a leitura da zona do incêndio. Com a ordem de ativação dos pares de ventiladores aplica-se o seguinte algoritmo:

```
IF #Incendio = TRUE THEN
  FOR #y := 1 TO 8 DO
    IF #"Quais arrancam"[#y] = TRUE THEN
      "Pares_ventoinhas".Estado_pares[#zona_comp[#y]] := 1;
    ELSE
      "Pares_ventoinhas".Estado_pares[#zona_comp[#y]] := 0;
    END_IF;
  END_FOR;
END_IF;
```

Este algoritmo é acionado sempre que for detetado incêndio. Após a sua deteção entra num *for* que percorre um array “Quais arrancam” de oito posições, que é atualizado na *network* anterior, e se encontrar a primeira posição a *true* ativa um par de ventiladores com base na sequência de arranque obtida segundo a zona de incêndio. Para as restantes posições o processo repete-se. A escrita é feita no array “Estado_pares”, responsável por escrever nas saídas do PLC, para ativar e desativar os ventiladores.

4.1.5.7 Ventilação do túnel no estado normal

Em situação de funcionamento normal do túnel a ventilação deverá funcionar nos dois sentidos, ascendente e descendente. Essa decisão é tomada de acordo com a leitura do sentido do fluxo do ar, mediante a indicação do anemómetro. Quando for necessário ativar algum ventilador, o acionamento é feito de acordo com o *setpoint*, resultante das leituras dos diferentes sensores.

Para gerir a ativação dos ventiladores desenvolve-se a função “Roda”, descrita no fluxograma da Figura 4.37. Este algoritmo está implementado na *network* 8 da função ventilação.

Relativamente à função “Roda”, esta é composta por sete *networks*, responsáveis por verificar a disponibilidade dos ventiladores e controlo da mudança de sentido de rotação. Também é verificado o número de ventiladores disponíveis, organizando-os de forma crescente consoante o contador de cada um deles. O contador tem como propósito fazer o uso equitativo de cada ventilador de modo a que cada um deles tenha um desgaste semelhante. Depois da utilização de cada ventilador é incrementado a sua utilização fazendo a reordenação para a próxima ordem de arranque. A indicação de quantos ventiladores vão arrancar de forma temporizada, evitando sobrecarga na rede, é dado pelo *setpoint* e sentido do fluxo de ar. Após o arranque é indicado se o próprio arrancou ou não, indicando o seu estado de funcionamento. O processo contrário, ou seja, para desligar os ventiladores consoante a diminuição do *setpoint* é feito também de forma temporizada, garantindo assim que não é introduzida uma variação brusca nos postos de secção e transformação.

As entradas na função correspondem à disponibilidade de equipamentos (disjuntores, falta de fase, avaria dos ventiladores e se estão em utilização ou não), indicação de existência de incêndio, indicação do *setpoint*, definição do número de ventiladores e indicação do sentido da ventilação.

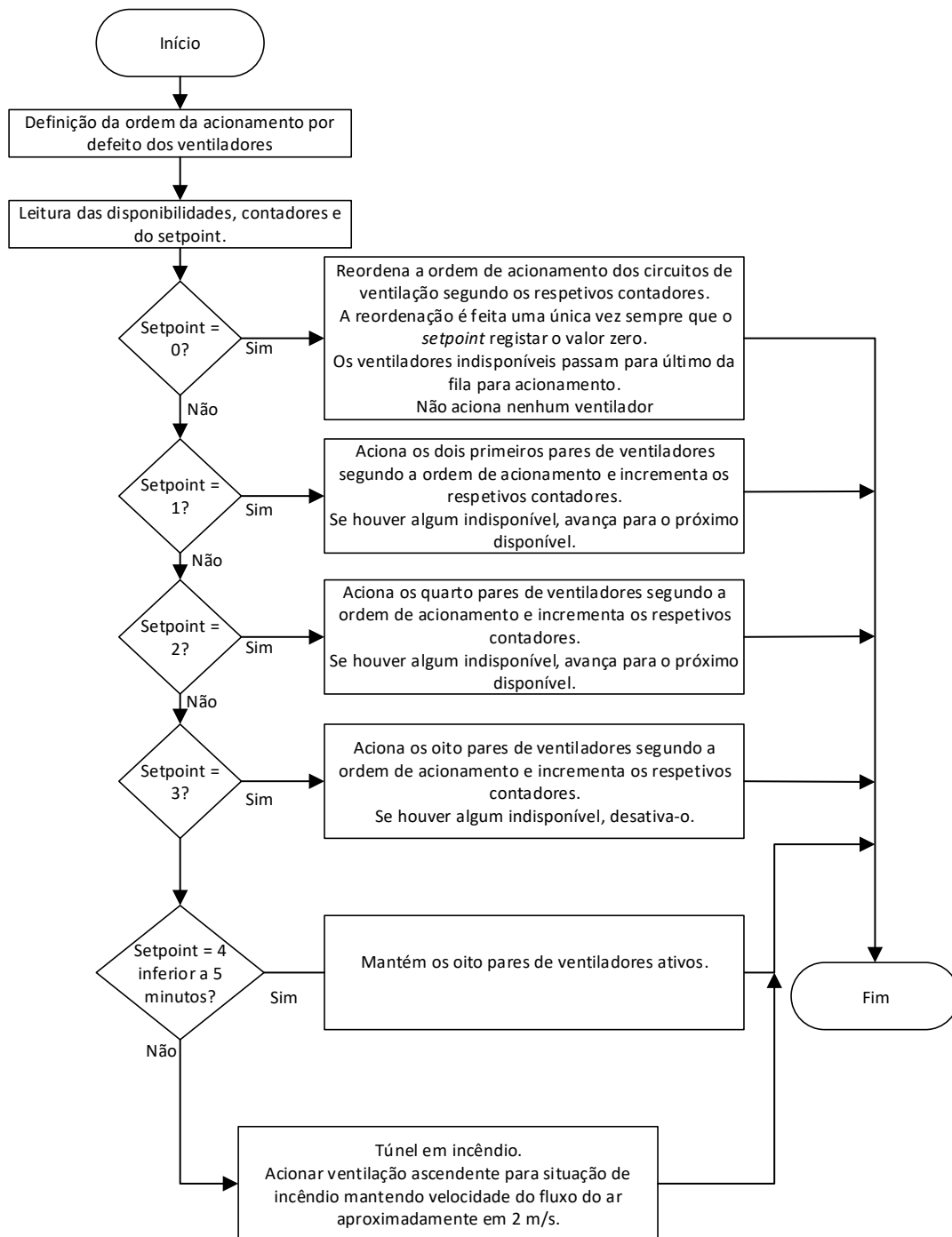


Figura 4.37 – Fluxograma da função “Roda” do sistema de ventilação normal.

Na primeira *network* da função “Roda” é efetuada a leitura das disponibilidades correspondentes aos diferentes ventiladores e coloca num *array* a disponibilidade organizada de cada ventilador. Esta *network* também verifica o sentido da ventilação, de modo que em situação inesperada de mudança do seu sentido, os ventiladores sejam desligados. Após a confirmação de que todos os equipamentos encontram-se desligados, estes poderão ser acionados noutra sentido, evitando que hajam mudanças bruscas e que o equipamento se estrague em consequência de comandos de acionamento contrário ao sentido atual de rotação. O pseudocódigo da função implementada é o seguinte:

```

Numero_ventiladores = numero_de_pares*2
i = 1;
while i <= Numero_ventiladores
    if disponibilidade_do_par_de_ventilador[i] == true
        par_de_ventiladores[i] = 0; //funciona em lógica negada
    else
        par_de_ventiladores[i] = 1;
    end_if;
    i = i + 1;
end_while;

if sentido_rotação_boaventura == false and sentido_rotação_são_vicente == false and sentido_off ==
1
    faz reset no arranca_ventiladores; //força a inatividade dos ventiladores
    sentido_off = 0; // variável de controlo
else
    sentido_off = 1;
end_if;

```

Na *network 2* faz-se uma verificação do número de ventiladores existentes no túnel e, de acordo com o contador correspondente ao número de utilizações de cada equipamento, faz-se uma reordenação para o próximo acionamento, com a finalidade de obter um equilíbrio na taxa de utilização dos ventiladores. A reordenação é efetuada quando o *setpoint* corresponde a zero, isto é, quando todos os ventiladores estão desligados à espera de um novo acionamento.

Ainda nesta *network* da função “Roda”, faz-se a confirmação do último ventilador que funcionou, para que esse não seja novamente o primeiro a ser acionado aquando da próxima ordem, colocando-o em último da lista de ventiladores a acionar. Aplica-se um *array* diferencial que guarda o número de vezes que um par de ventiladores funcionou, isto é, um *array* que apenas guarda a diferença entre os demais contadores de cada ventilador, evitando assim que cada posição do *array* ultrapasse o limite da representação numérica, 2^n , sendo a resolução máxima de $n = 16$ bits, usando o complemento para 2. O pseudocódigo implementado na *network 2* é o seguinte:

```

Numero_ventiladores = numero_de_pares*2;
indice = Numero_ventiladores;
x = 2; // cada ventilador tem uma posição auxiliar para associar a contagem do número de manobras

if setpoint == 0
    confirmação de todos os ventiladores desligados;
    for i = 1 até numero_de_pares
        if estado_do_par_de_ventiladores[i] == 0
            incrementação do número de ventiladores no estado off;
        end_if;
    end_for;

    if verificação de todos os ventiladores a off and ordenar_uma_vez_contador == 1
        while indice > 1
            while x < Numero_ventiladores
                if contador_par_ventiladores[x] > contador_par_ventiladores[x + 2]

```

```

        troca a ordem e organiza de forma crescente a ordem de arranque dos ventiladores;
    endif;
    x = x + 2;
end_while;
x = 2;
indice = indice - 2;
end_while;

if primeiro ventilador a arrancar na sequência anterior == primeiro ventilador a arrancar na nova
sequencia
    reorganiza o array de arranque colocando-o em último evitando o seu funcionamento contínuo;
    sinal_ordem_de_arranque = 0;
end_if;

ordenar_uma_vez_contador = 0;
end_if;
end_if;

// Contador diferencial
x = 2;
diferencial = 0;
for j=1 até numero_de_pares
    if contador_par_ventiladores[x] > 0
        diferencial = diferencial + 1;
    end_if;
    x=x+2;
end_for;

x = 2;
if diferencial == numero_de_pares
    for i = 1 até numero_de_pares
        decrementa um arranque no contador de cada par ventilador que arrancou;
        x=x+2;
    end_for;
end_if;

```

Na *network* 3 faz-se uma associação da disponibilidade de cada ventilador, obtida anteriormente na *network* 1, com a ordem de arranque obtida na *network* 2. Coloca-se num único *array* a ordem de arranque e a disponibilidade. Na *network* 3, verifica-se a indisponibilidade dos ventiladores após arranque. Em caso de falha é substituído pelo próximo ventilador disponível, garantido assim que sejam ativados os ventiladores correspondentes ao nível de cada *setpoint*, indicado na secção 3.6.2. Na *network* 3 também se memoriza o último ventilador em funcionamento, para posterior tratamento de informação no próximo ciclo na *network* 2. O código implementado para esta *network* está representado no seguinte pseudocódigo:

```

Numero_ventiladores = numero_de_pares*2;
i = 1;
while i < Numero_ventiladores //alocação num novo array para associar a respetiva disponibilidade
    ordem de arranque[i] = contador_par_ventiladores[i];
    i = i + 2;

```

```

end_while;

// Colocação de um inteiro associado a cada ventilador, indicando disponível ou indisponível
i = 1;
for j = 1 até numero_de_pares
  while i <= Numero_ventiladores
    if ordem_de_arranque[i] == j //procura do par e associação da disponibilidade
      acrescenta no array da ordem de arranque a disponibilidade de cada ventilador;
    end_if;
    i = i + 2;
  end_while;
  i = 1;
end_for;

indice = Numero_ventiladores;
x = 2;
while indice > 1
  while x < Numero_ventiladores;
    ordena o array de arranque consoante a disponibilidade de cada ventilador;
  end_while;
  x = 2;
  indice = indice - 2;
end_while;

// atualiza a disponibilidade quando o setpoint for a zero evitando a troca brusca dos ventiladores caso
voltem a estar disponíveis
y = 1;
for i = 1 até numero_de_pares
  conversão da ordem de arranque para um array com a ordem de arranque final para acionamento
dos ventiladores;
  y = y + 2;
end_for;

setpoint_temporario = setpoint;
if setpoint > 0
  if disponibilidade_do_par_de_ventilador == disponibilidade_do_par_de_ventilador_anterior
    indisponibilidade_comparação= 0;
  else
    indisponibilidade_comparação = 1;
    disponibilidade_do_par_de_ventilador_anterior = disponibilidade_do_par_de_ventilador;
    atualiza o array contador_par_ventiladores para manter a substituição em caso de
indisponibilidade;
  end_if;

  if sinal_ordem_de_arranque == 0
    sinal_ordem_de_arranque = 1;
    ultimo_a_arrancar = ordem_de_arranque_final[1]; //guarda a informação do primeiro ventilador a
arrancar para posteriormente confirmar na próxima sequência se coincide com o mesmo.
  end_if;
  ordenar_uma_vez_contador = 1;
end_if;

```

```

if indisponibilidade_comparação == 1
    setpoint_temporario = 0;
else
    setpoint_temporario = setpoint;
end_if;

```

Na *network* 4, presente na Figura 4.38, aplica-se um sistema em cascata, para temporizar a indicação de arranque de cada ventilador, evitando sobrecargas na rede elétrica e protegendo os equipamentos de comando. Após a verificação do *setpoint*, do sentido de circulação do ar e inexistência de incêndio inicializa-se a temporização para ativação dos ventiladores. Com confirmação das condições a da variável “Pares_ventoinhas”.Quais_arrancam[1]” é ativada, dando indicação para primeiro par de ventiladores arrancar, pela ordem definida anteriormente. O próximo par de ventiladores só é ativado 30 segundos depois, isto porque o tempo de arranque de cada ventilador é de aproximadamente 15 segundos. O desfaseamento de arranques é imposto para que não haja sobrecarga na rede.

Se os dois primeiros pares forem ativados e se o *setpoint* for superior a 2 é acionado o terceiro par de ventiladores também com 15 segundos entre cada ventilador e assim sucessivamente. De acordo com o *setpoint*, é ativado o número de ventiladores indicados na secção 3.6.2.

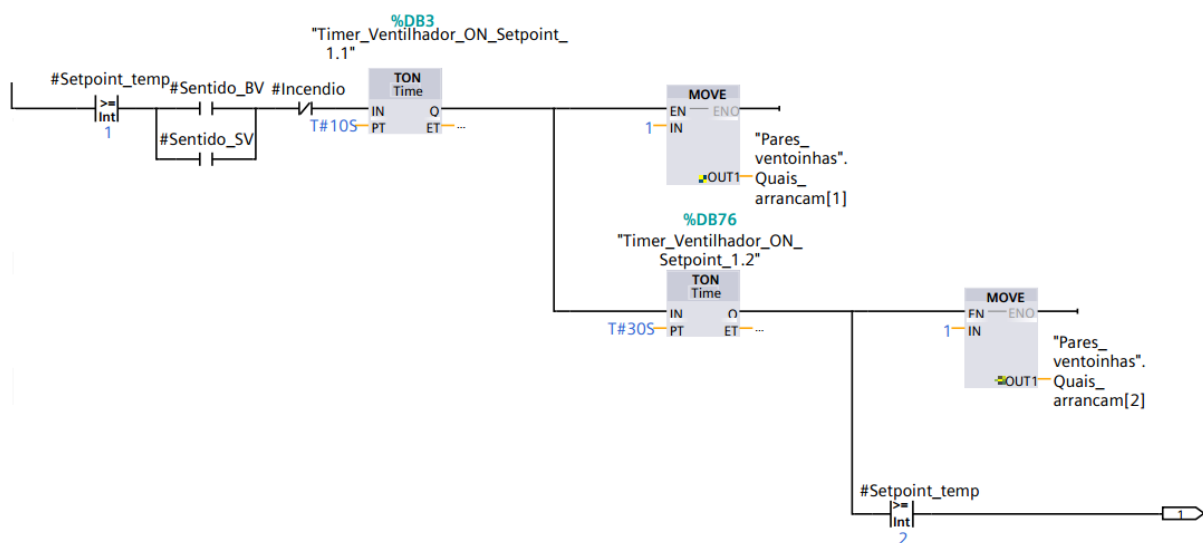


Figura 4.38 – Função “Roda” – *network* 4, exemplo de temporização de arranque dos ventiladores.

Na *network* 5 registam-se no *array*, em que cada posição refere-se ao estado de cada ventilador, para as próximas iterações de arranque. O pseudocódigo referente a função é o seguinte:

```

if incendio == false
    for y = 1 até numero_de_pares
        if setpoint == 1
            if par_ventilador_arranca[y] == 1
                atualiza o array indicando que arrancou colocando o estado anterior a zero;
            end_if;

            elsif estado_par_ventilador_atual == 1 and estado_par_ventilador_anterior == 0
                atualiza no array o estado anterior para "1";

```

```

    end_if;
    Aplica-se o mesmo procedimento para os restantes setpoints;
end_for;
end_if;

```

Na *Network 6*, desenvolve-se um programa que serve para verificar que só os ventiladores necessários, de acordo com o nível do *setpoint*, são acionados mantendo os restantes desligados. O nível do *setpoint* pode aumentar ou diminuir. No caso de haver uma diminuição o número de ventiladores correspondente vai desligar-se de forma temporizada. O princípio de temporização de paragem é semelhante ao arranque representado na Figura 4.38.

Por fim, na última *network* da função “Roda” apresentada como *network 7*, implementa-se um algoritmo de entrada de cada par de ventiladores, que acionaram com sucesso. Sempre que algum ventilador seja acionado, a posição do *array* correspondente é incrementa. Este *array* é utilizado na segunda *network*, para reordenar o próximo acionamento dos ventiladores, assim que o *setpoint* seja zero.

```

if setpoint < 1
    paragem dos dois primeiros pares ventiladores;
end_if;
if setpoint < 2
    paragem dos pares de ventiladores na 3ª e 4ª posição do array;
end_if;
if setpoint < 3
    paragem dos restantes pares ventiladores;
end_if;

```

leitura das variáveis dos contadores de cada par para um *array* de contadores externos, realizando a conversão de um valor real para inteiro;

```

z = 1;
for j = 1 até numero_de_pares
    while z <= Numero_ventiladores
        if contador_par_ventiladores [z] == j
            contador_par_ventiladores [z+1] = contador_externo[j];
        end_if;
        z = z+2;
    end_while;
    z = 1;
end_for;

```

4.1.5.8 Estado final dos ventiladores

Ainda dentro da função “Tunel”, é criada a *Network 10*, ilustrada na Figura 4.39, responsável pelo comando final, uma vez que ativa ou não ativa os ventiladores com base na leitura do *array* que, por sua vez, indica o estado que deverá estar o ventilador, verifica se há incêndio e qual a zona do mesmo, caso exista. Em termos de ativação de cada ventilador do par, estes são acionados com diferença de 15 segundos entre si.

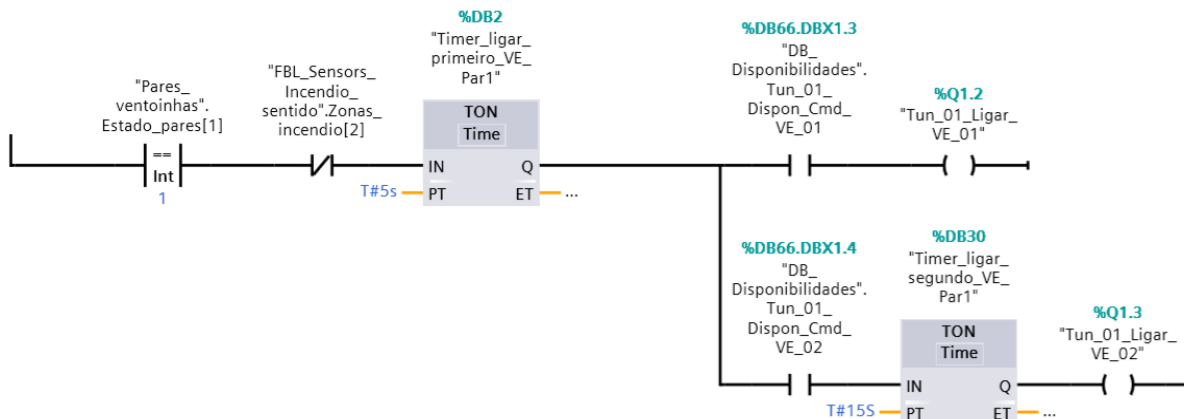


Figura 4.39 – Função “Tunel” – *Network 10*, comando final para ativar ou não ativar os ventiladores.

4.1.6 Sinalizações e HMI

No programa principal do PLC, que está continuamente em ciclo, desenvolve-se a função com o nome de “Sinalizadores_e_HMI”, ilustrada na Figura 4.40. Esta função é responsável por efetuar a leitura dos estados dos equipamentos presentes no túnel para posterior fornecimento dessa informação ao programa de visualização no *display*. Essa informação está constantemente a ser consultada através do programa desenvolvido para visualização e, com base nos valores obtidos em tempo real, é possível visualizar o estado dos equipamentos, presentes no túnel, no monitor.

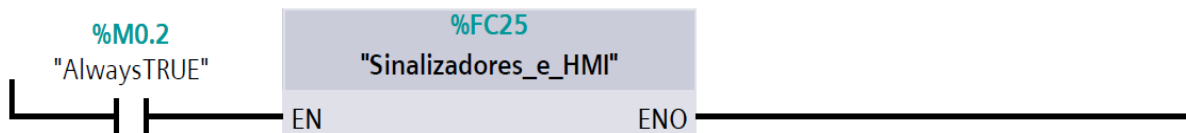


Figura 4.40 – *Main – Network 11*, Função “Sinalizadores_e_HMI”.

Na função “Sinalizadores_e_HMI” desenvolvem-se as funções com o nome “Sinalizacao_Ilum_Tipo_HMI” e “Sinalizacao_VE_Tipo_HMI”, ilustradas e explicadas no Anexo G. Estas funções contêm quatro entradas e uma saída, e tem por objetivo variar a saída com um número inteiro de 0 a 3, que representam os diferentes estados da iluminação e da ventilação. Estas funções são utilizadas para todos os sistemas de iluminação e de ventilação

As funções “Sinalizacao_Ilum_Tipo_HMI” e “Sinalizacao_VE_Tipo_HMI” são desenvolvidas com base no fluxograma presente na Figura 4.41.

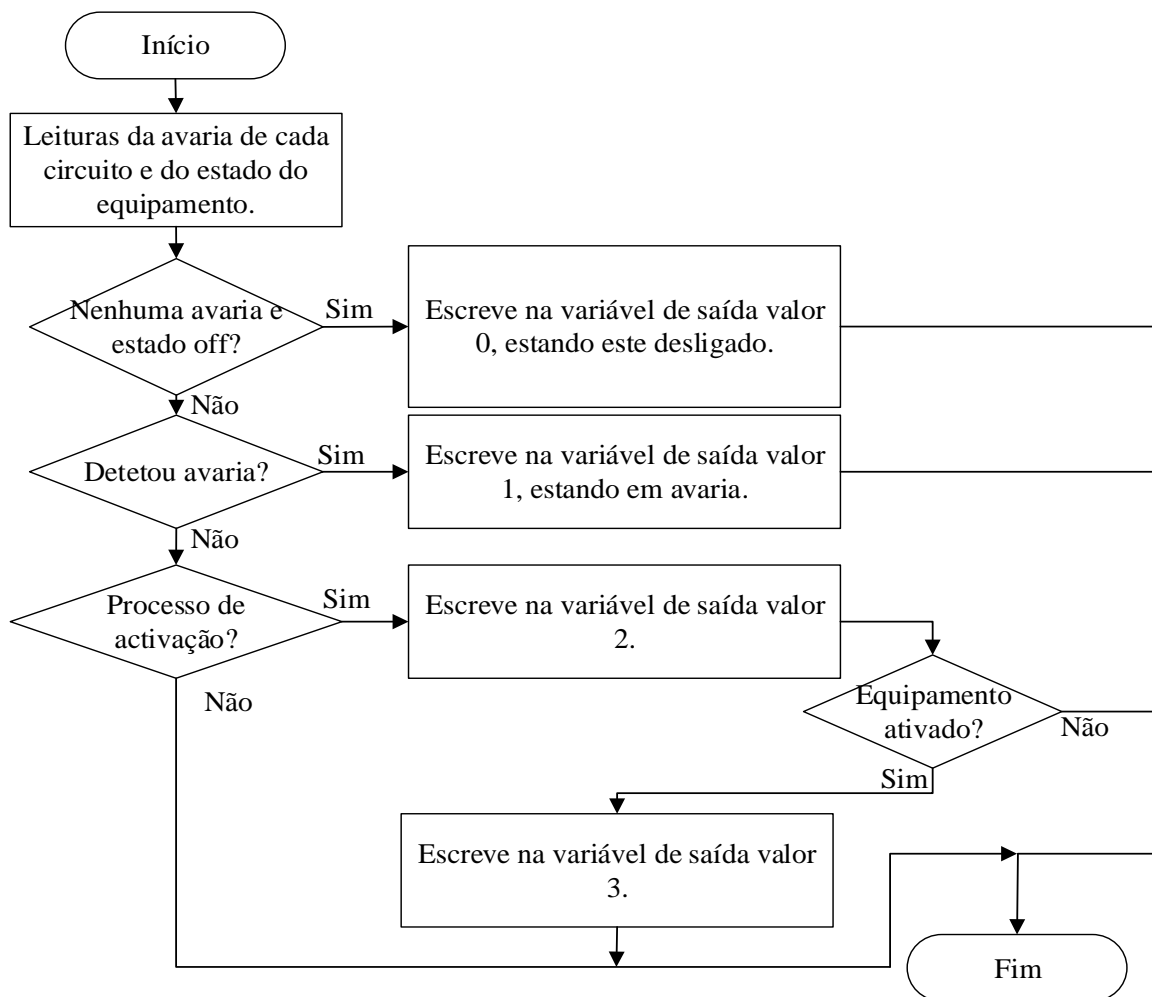


Figura 4.41 – Fluxograma das funções “Sinalizacao_Ilum_Tipo_HMI” e “Sinalizacao_VE_Tipo_HMI”.

As saídas destas funções são utilizadas pelo programa de visualização para animar os diferentes ícones presentes no display, capítulo 4.2, e desta forma haver uma interpretação, por parte do visualizador, dos estados dos equipamentos instalados no túnel. Estas funções são apresentadas e explicada em detalhe no Anexo G.

4.1.7 Contadores de horas e número de operações

O controlo do tempo de funcionamento e a contagem do número de manobras dos equipamentos instalados no túnel, é feito na função com o nome “NManobras_HFunc”, ilustrada na Figura 4.42, de modo que posteriormente seja disponibilizada essa informação no *display* do HMI. As contagens são utilizadas também pelo sistema de ventilação e pelo sistema de iluminação, para que haja um equilíbrio na utilização dos circuitos de iluminação e dos ventiladores. A função é desenvolvida com base no fluxograma ilustrado na Figura 4.43.

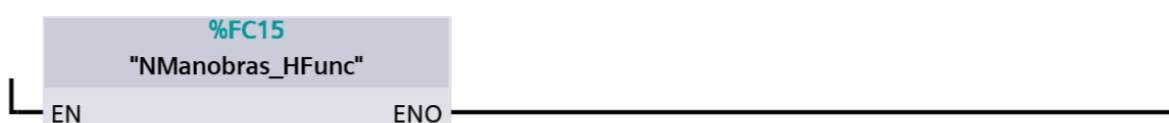


Figura 4.42 – Main – Network 12, função “NManobras_HFunc”.

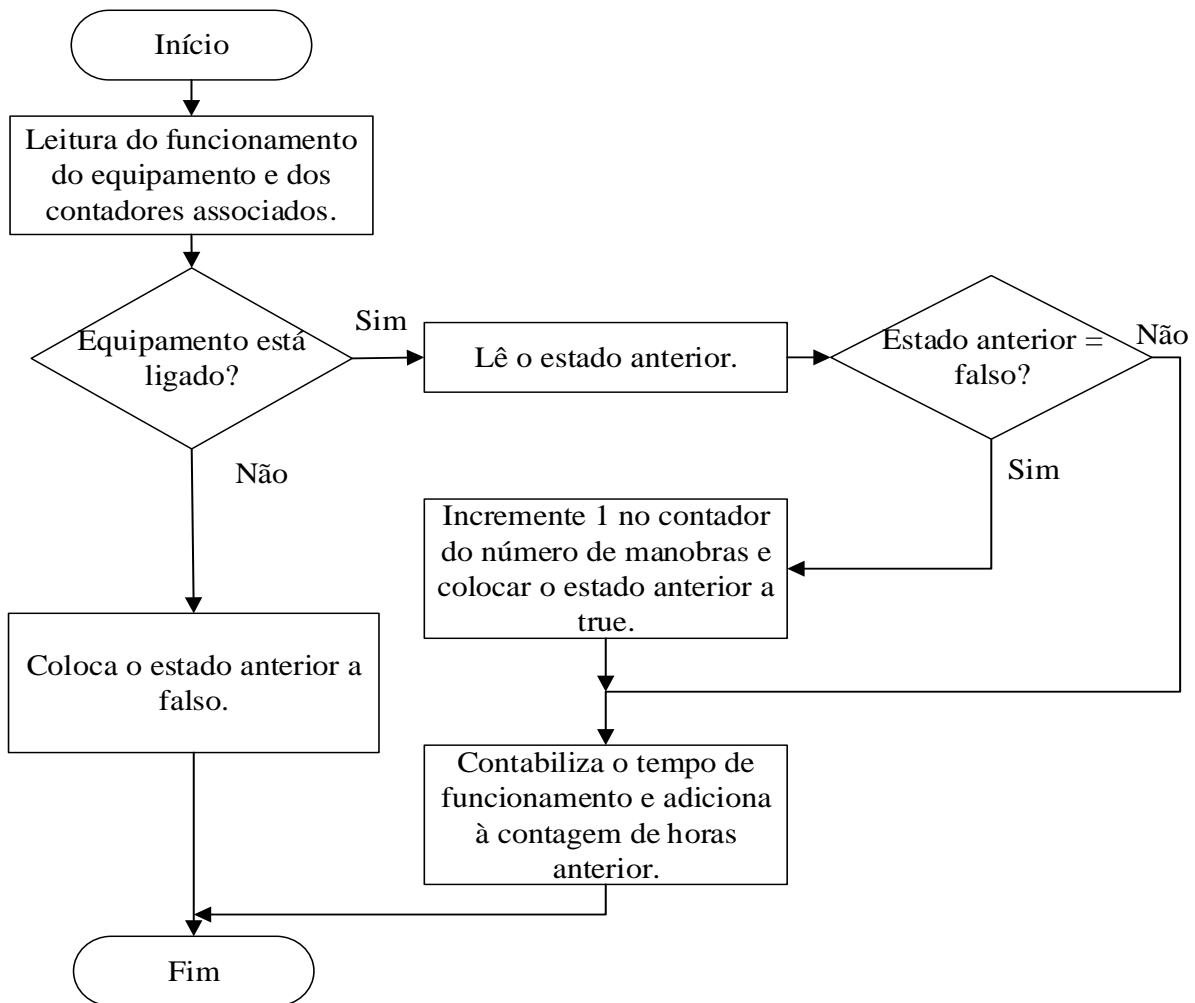


Figura 4.43 – Fluxograma da função “NManobras_HFunc”.

No Anexo H apresenta-se o funcionamento da função “NManobras_HFunc”.

4.2 HMI

Nesta secção apresentam-se as interfaces criadas para as ações de visualização, simulação e comando, por parte do utilizador, para poder efetuar o comando e a verificação do estado de funcionamento do túnel.

No centro de controlo e segurança do túnel há um HMI instalado que contém um *touchscreen display* através do qual o utilizador pode consultar os múltiplos parâmetros relativos à ventilação, à iluminação, aos sensores e respetivos *setpoints*, às horas de funcionamento e ao número de manobras de cada equipamento. É possível consultar o diagnóstico de avarias em equipamentos, especificando a hora e data. Para além da visualização, é possível efetuar simulações do *setpoint* que corresponde à ventilação ou à iluminação no respetivo menu.

4.2.1 Visualização da ventilação

No menu principal, correspondente à ventilação, como ilustra a Figura 4.44, é possível visualizar os valores medidos pelos sensores de visibilidade e de CO. Com base nestes sensores

o valor do *setpoint* varia entre 0 e 4, supracitado na secção 3.6.2. Estando o túnel no seu estado normal, fora de incêndio, a ventilação funciona com base no valor do *setpoint* e no sentido do fluxo do ar dentro do túnel, obtido pelo anemómetro. É ainda possível verificar a disponibilidade de funcionamento de cada ventilador juntamente com o seu sentido.

Um aspeto de comando importante é a temporização de sentido, ou seja, os relés temporizados supracitados na secção 3.5.1 na Figura 3.11, definirão o sentido da ventilação de ambos os lados, porém os ventiladores só iniciam o processo de acionamento de acordo com o término da temporização, secção 4.1.5.5. No *display* é possível acompanhar todo o processo de ligar e desligar dos ventiladores em tempo real, com animações predefinidas no programa. Na visualização da Figura 4.44 são perceptíveis várias cores: a cor cinza, indica que o ventilador está desligado; a cor vermelha indica que o ventilador possui avaria; a cor verde intermitente indica que está a ser acionado; o verde permanentemente a girar significa que está a funcionar normalmente. No *display* mostra-se a velocidade e o sentido do fluxo do ar dentro do túnel, a data, a hora, o estado atual do túnel (normal ou incêndio) e o estado de funcionamento dos semáforos nas extremidades do túnel que, por sua vez, estão a verde quando o túnel está em estado normal, mas quando o túnel entra em estado de incêndio, estes passam a vermelho.

A data e hora só é atualizada no hardware quando o programa é executado. Os restantes campos apresentam valores a zero e só depois que o programa estar em funcionamento no PLC, o HMI apresenta os valores instantâneos.

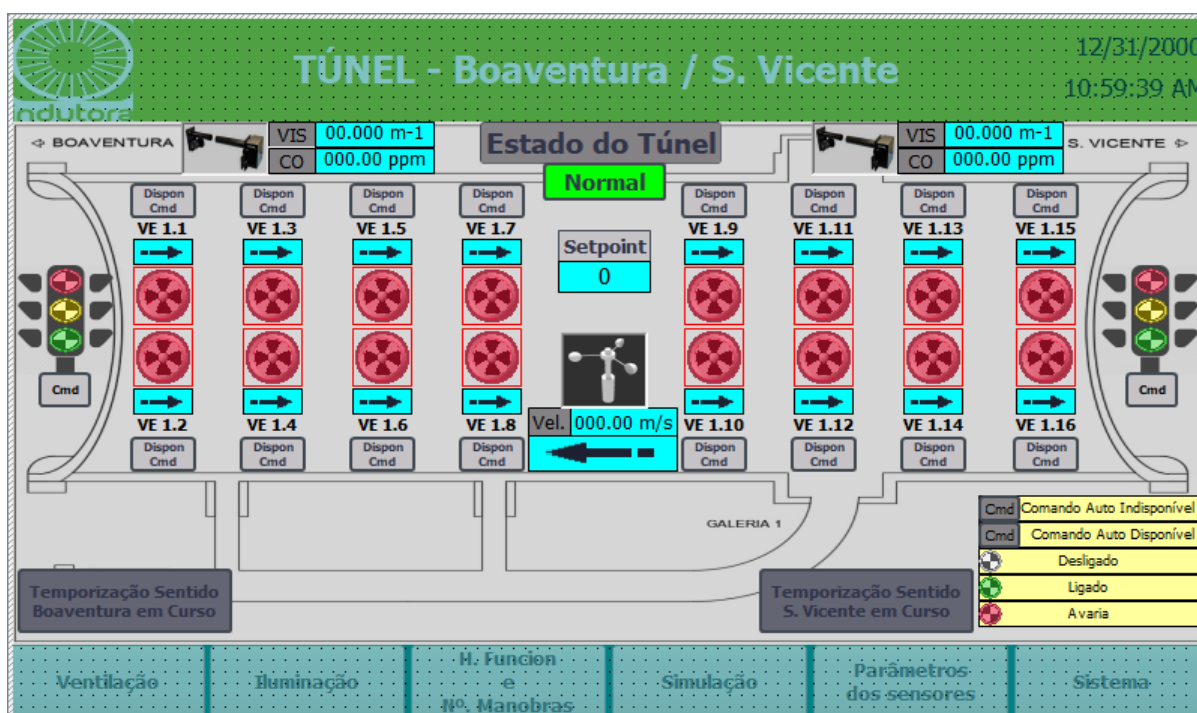


Figura 4.44 – Menu da ventilação.

4.2.2 Visualização da iluminação

O menu da iluminação representado na Figura 4.45, mostra a disponibilidade e o estado dos circuitos de iluminação, desde os circuitos de iluminação das rotundas, a transição de

luminância do exterior para o interior do túnel e vice-versa e a iluminação nas galerias. No *display* visualiza-se também o nível de luminância em cada extremo do túnel, permitindo o acompanhamento da adaptação dos circuitos de iluminação nas extremidades do túnel, de acordo com o *setpoint* definido com a leitura do luminômetro.

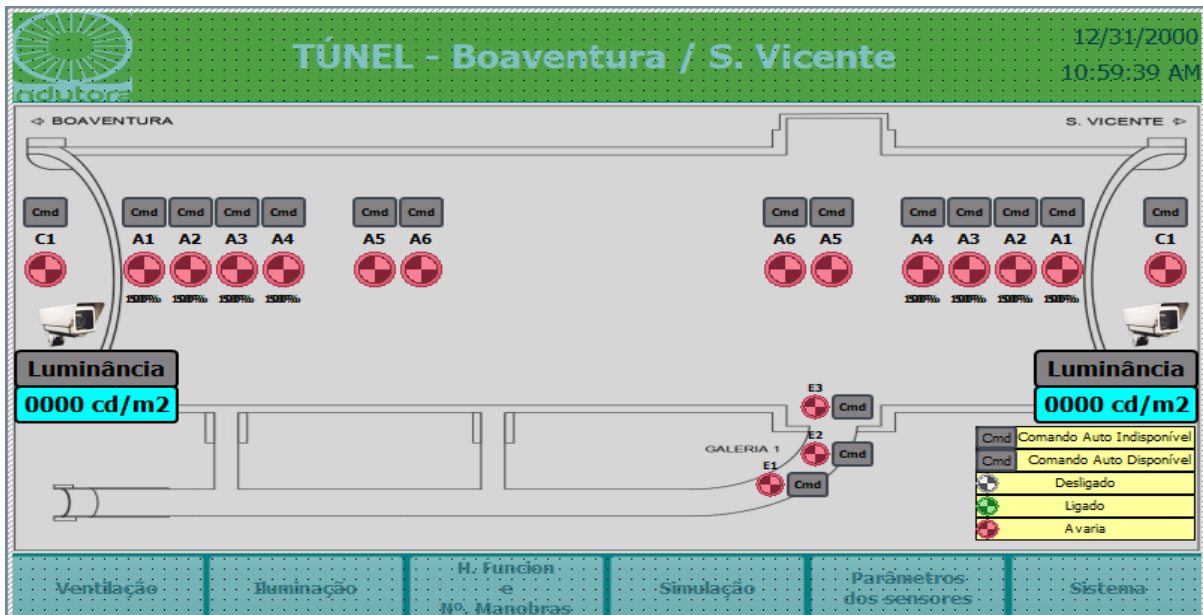


Figura 4.45 – Menu da iluminação.

4.2.3 Visualização do número de manobra e horas de funcionamento

Para possibilitar a qualquer utilizador a consulta do número manobras, horas de funcionamento dos diferentes equipamentos e até mesmo efetuação de *reset* em algum dos contadores, existe um menu de consulta dessa informação, descrita pela Figura 4.46.

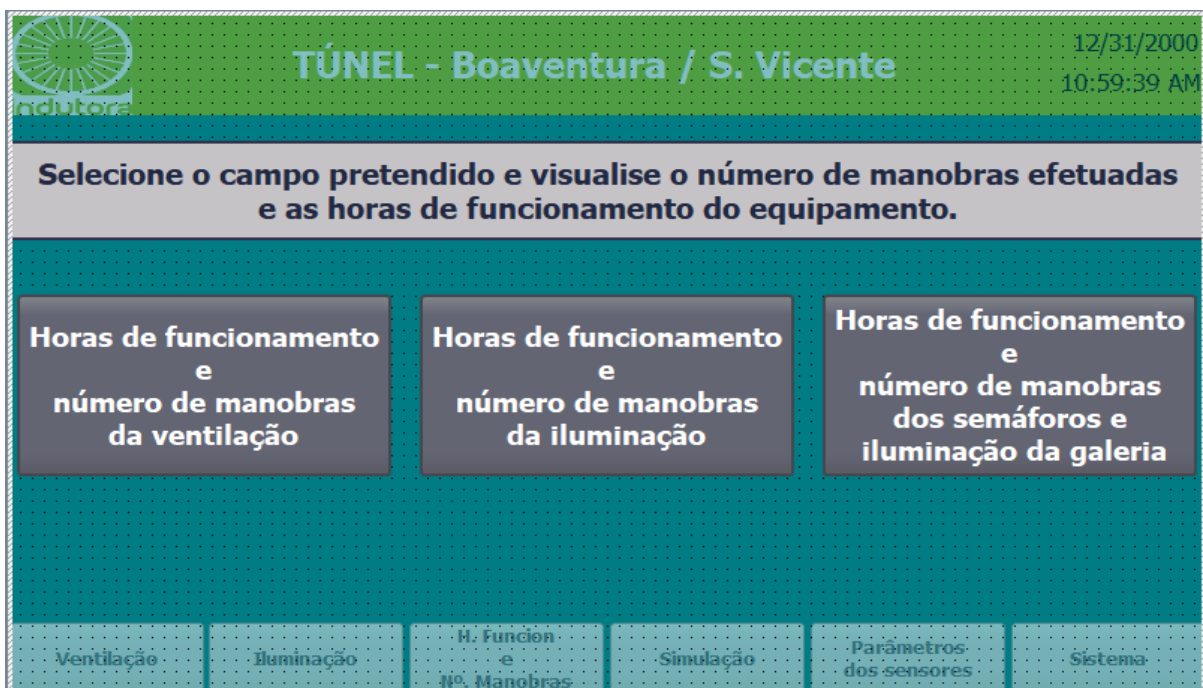


Figura 4.46 – Menu de horas de funcionamento e número de manobras.

Após selecionar o submenu de contagem, correspondente à ventilação, obtém-se a informação sobre os contadores correspondentes a cada ventilador e a possibilidade de fazer *reset* da contagem. A Figura 4.47 permite visualizar o submenu da ventilação. Os campos apresentam valores a zero por defeito no software de programação e só são atualizadas no próprio HMI quando o programa está a ser executado.

TUNEL - Boaventura / S. Vicente									
Número manobras e horas de funcionamento dos ventiladores do túnel									
Tunel 1.1					Tunel 1.2				
Ventilador	Nº Manobras	Reset	T. Func. (h.m)	Reset	Ventilador	Nº Manobras	Reset	T. Func. (h.m)	Reset
VE 1.1	000000	Reset	000000.00	Reset	VE 1.9	000000	Reset	000000.00	Reset
VE 1.2	000000	Reset	000000.00	Reset	VE 1.10	000000	Reset	000000.00	Reset
VE 1.3	000000	Reset	000000.00	Reset	VE 1.11	000000	Reset	000000.00	Reset
VE 1.4	000000	Reset	000000.00	Reset	VE 1.12	000000	Reset	000000.00	Reset
VE 1.5	000000	Reset	000000.00	Reset	VE 1.13	000000	Reset	000000.00	Reset
VE 1.6	000000	Reset	000000.00	Reset	VE 1.14	000000	Reset	000000.00	Reset
VE 1.7	000000	Reset	000000.00	Reset	VE 1.15	000000	Reset	000000.00	Reset
VE 1.8	000000	Reset	000000.00	Reset	VE 1.16	000000	Reset	000000.00	Reset

Figura 4.47 – Submenu de horas de funcionamento e número de manobras dos ventiladores.

No submenu da contagem da iluminação, obtém-se a informação presente na Figura 4.48.

TUNEL - Boaventura / S. Vicente									
Número manobras e horas de funcionamento da iluminação do túnel									
Tunel 1.1					Tunel 1.2				
Circuito	Nº Manobras	Reset	T. Func. (h.m)	Reset	Circuito	Nº Manobras	Reset	T. Func. (h.m)	Reset
A1 - 50%	000000	Reset	000000.00	Reset	A1 - 50%	000000	Reset	000000.00	Reset
A2 - 50%	000000	Reset	000000.00	Reset	A2 - 50%	000000	Reset	000000.00	Reset
A3 - 50%	000000	Reset	000000.00	Reset	A3 - 50%	000000	Reset	000000.00	Reset
A4 - 50%	000000	Reset	000000.00	Reset	A4 - 50%	000000	Reset	000000.00	Reset
A1 - 100%	000000	Reset	000000.00	Reset	A1 - 100%	000000	Reset	000000.00	Reset
A2 - 100%	000000	Reset	000000.00	Reset	A2 - 100%	000000	Reset	000000.00	Reset
A3 - 100%	000000	Reset	000000.00	Reset	A3 - 100%	000000	Reset	000000.00	Reset
A4 - 100%	000000	Reset	000000.00	Reset	A4 - 100%	000000	Reset	000000.00	Reset
A5 - 100%	000000	Reset	000000.00	Reset	A5 - 100%	000000	Reset	000000.00	Reset
A6 - 100%	000000	Reset	000000.00	Reset	A6 - 100%	000000	Reset	000000.00	Reset
C1 Exterior	000000	Reset	000000.00	Reset	C1 Exterior	000000	Reset	000000.00	Reset

Figura 4.48 – Submenu de horas de funcionamento e número de manobras dos circuitos de iluminação.

O submenu correspondente à contagem dos semáforos e à iluminação das galerias, está representado na Figura 4.49.

TÚNEL - Boaventura / S. Vicente									
12/31/2000 10:59:39 AM									
Número manobras e horas de funcionamento dos semáforos e ilum. galeria do túnel									
Tunel 1.1					Tunel 1.2				
Semáforo	Nº Manobras	Reset	T. Func. (h.m)	Reset	Semáforo	Nº Manobras	Reset	T. Func. (h.m)	Reset
Verde	000000	Reset	000000.00	Reset	Verde	000000	Reset	000000.00	Reset
Amarelo	000000	Reset	000000.00	Reset	Amarelo	000000	Reset	000000.00	Reset
Vermelho	000000	Reset	000000.00	Reset	Vermelho	000000	Reset	000000.00	Reset

Galeria				
Circuito	Nº Manobras	Reset	T. Func. (h.m)	Reset
E1	000000	Reset	000000.00	Reset
E2	000000	Reset	000000.00	Reset
E3	000000	Reset	000000.00	Reset

Figura 4.49 – Submenu de horas de funcionamento e número de manobras dos circuitos de iluminação da galeria e dos semáforos.

4.2.4 Simulação

O menu de simulação, da Figura 4.50, permite efetuar simulações correspondentes à ventilação e à iluminação. Neste menu é possível simular um *setpoint* correspondente à ventilação, sobrepondo-o ao *setpoint* obtido pelos sensores para verificar se o programa está a funcionar adequadamente.

No menu existe uma tabela que indica quantos ventiladores deverão ser acionados de acordo com cada *setpoint*, informação que pode ser visualizada no menu principal da ventilação. Quanto à iluminação, também é possível simular neste menu o *setpoint* de cada extremidade do túnel, ignorando o nível de *setpoint* obtido através dos luminancímetros. Para a iluminação também existe uma tabela que descreve o que deverá acontecer, mostrando essa informação no menu da iluminação.

TÚNEL - Boaventura / S. Vicente									
12/31/2000 10:59:39 AM									
Simulação de setpoint									
Simule o setpoint da ventilação					Simule o setpoint da iluminação				
Activar setpoint manual? <input type="checkbox"/> OFF					Túnel 1.1 Túnel 1.2 Activar setpoint manual? <input type="checkbox"/> OFF <input type="checkbox"/> OFF				
Introduza o setpoint <input type="text" value="0"/>					Introduza o setpoint <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/>				
Operação segundo o valor de Setpoint					Operação segundo o valor de Setpoint				
0 Liga zero ventiladores					0 Liga zero circuito				
1 Liga 4 ventiladores					1 Liga 2 circuitos a 50%				
2 Liga 8 ventiladores					2 Liga 4 circuitos a 50%				
3 Liga 16 ventiladores					3 Liga 2 circuitos a 100% e 2 circuitos a 50%				
4 ou + Liga 16 ventiladores, após 5 minutos com este setpoint o túnel entra em modo incêndio					4 ou + Liga 4 circuitos a 100%				

Figura 4.50 – Menu da simulação.

4.2.5 Parâmetros que definem o *setpoint*

De maneira que o utilizador consiga consultar ou alterar os intervalos dos valores medidos pelos os sensores, que por sua vez definem os *setpoints*, existe o menu parâmetros dos sensores, como mostra a Figura 4.51. Após entrar neste menu, surgem duas opções de submenu, sendo um submenu correspondente aos valores que definem o *setpoint* da ventilação e outro submenu correspondente aos valores que definem o *setpoint* da iluminação nas transições.

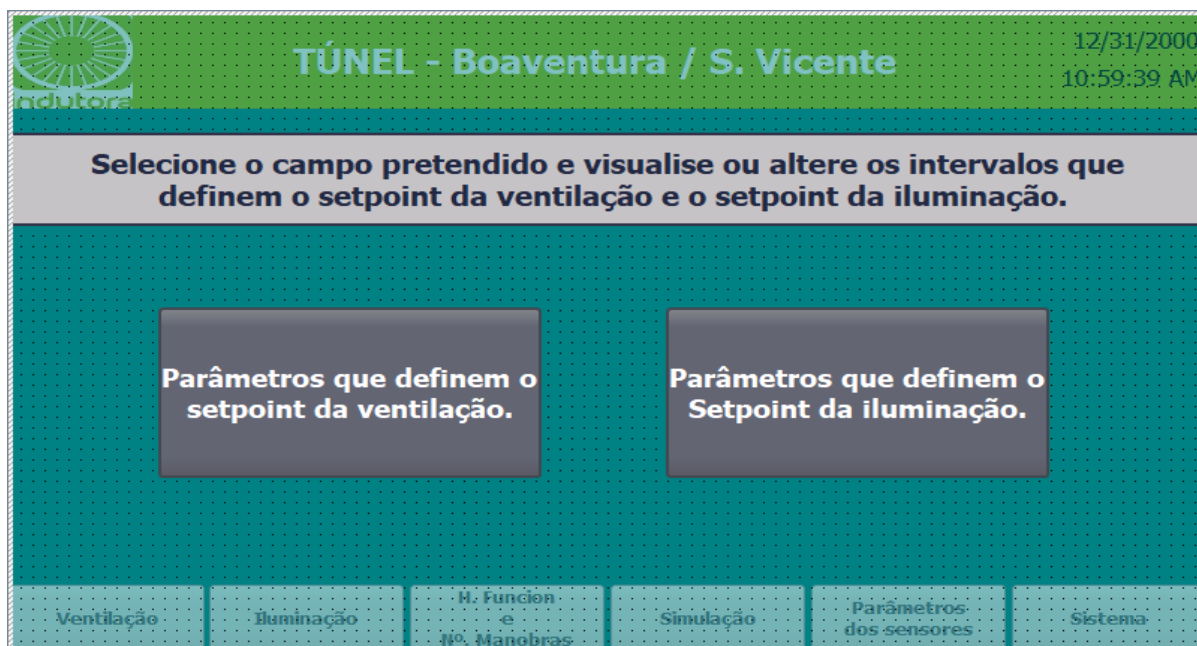


Figura 4.51 – Menu dos parâmetros que definem o *setpoint*.

O submenu correspondente aos parâmetros que definem o *setpoint* da ventilação, representado na Figura 4.52, mostra a informação dos diferentes intervalos, os valores dos sensores que estão a ser medidos em tempo real. Neste submenu é possível alterar os diferentes intervalos.

Monóxido de Carbono (CO)				Visibilidade					
Setpoint	Min		Max	Setpoint	Min		Max		
Nível 0	0000	<=	CO <	0000	Nível 0	0000	<=	Visibilidade <	0000
Nível 1	0000	<=	CO <	0000	Nível 1	0000	<=	Visibilidade <	0000
Nível 2	0000	<=	CO <	0000	Nível 2	0000	<=	Visibilidade <	0000
Nível 3	0000	<=	CO <	0000	Nível 3	0000	<=	Visibilidade <	0000
Nível 4	0000	<=	CO <	00000	Nível 4	0000	<=	Visibilidade <	00000

CO Actual T1.1	0000 ppm	Visibilidade Actual T1.2	0000 m-1
CO Actual T1.2	0000 ppm	Visibilidade Actual T1.2	0000 m-1

NOTA: Os campos a amarelo podem ser alterado, redefinindo os intervalos.

Figura 4.52 – Submenu dos parâmetros que definem o *setpoint* da ventilação.

O submenu, ilustrado na Figura 4.53, correspondente aos intervalos que definem o *setpoint* da iluminação nas transições. Consegue-se visualizar os intervalos predefinidos, alterá-los e também observar os valores que estão a ser medidos em tempo real pelos luminancímetros.

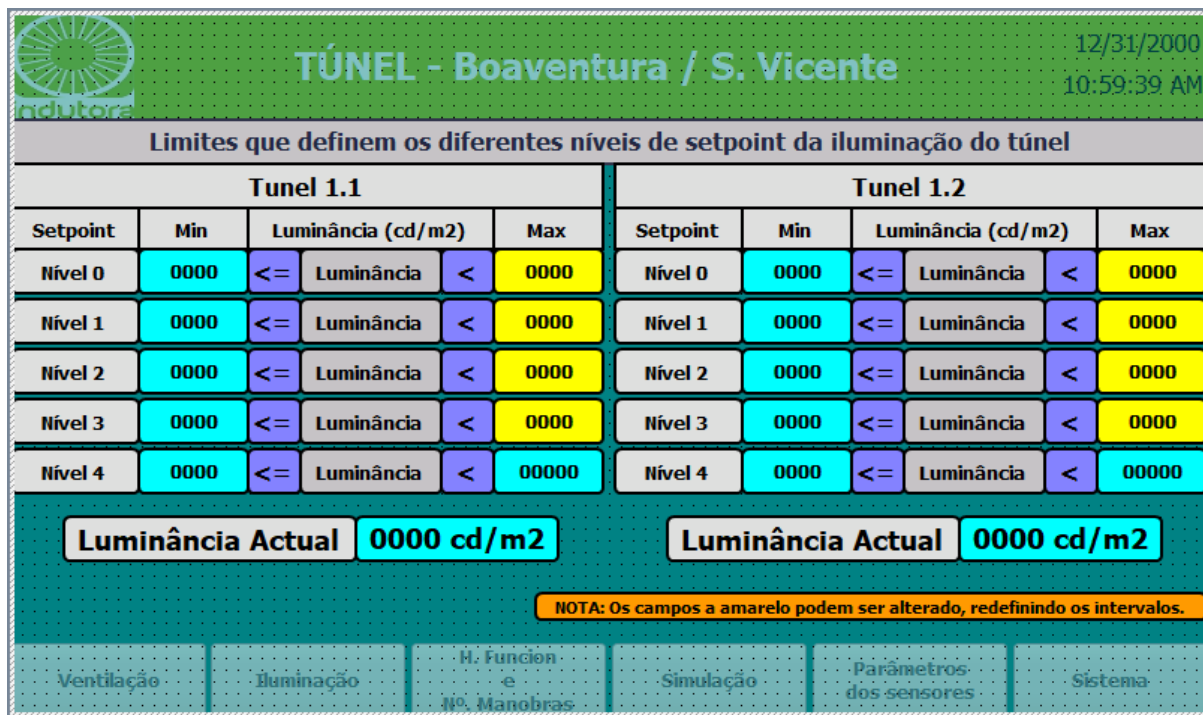


Figura 4.53 – Submenu dos parâmetros que definem o *setpoint* da ventilação.

4.2.6 Sistema

A visualização das falhas e avisos que podem surgir nos diferentes equipamentos instalados no túnel, é feita no menu Sistema, ilustrado na Figura I.1 do Anexo I. Este menu contém uma tabela onde são apresentados os alarmes associados aos diferentes equipamentos, a data, a hora e a descrição do equipamento.

Esta tabela tem como objetivo facilitar a deteção de problemas existentes no túnel, sendo posteriormente mais óbvio para o utilizador resolver o problema em específico. Associado a este menu existe o submenu Diagnóstico e a possibilidade de desligar o HMI.

No submenu de diagnóstico, na Figura I.2 do Anexo I, existe uma tabela para consultar falhas e avisos relacionados com o próprio PLC ou HMI, isto é, nesta tabela são descritos acontecimentos como falhas na alimentação do autómato, reinícios, falhas de conexão, entre outros.

5 Verificação experimental

Neste capítulo apresenta-se os resultados da verificação experimental do sistema de automatização do túnel pertencente ao rodoviário designado por Boaventura – São Vicente na ilha da Madeira.

5.1 Funcionamento geral da automatização

Na presente secção faz-se a verificação experimental geral do funcionamento do túnel no túnel, para verificar o funcionamento dos principais equipamentos de monitorização e acionamento do túnel.

5.1.1 Verificação experimental da função disponibilidade

No processo de verificação experimental, do programa implementado no PLC, começa-se por verificar o correto funcionamento da função “Disponibilidade”. Esta função é responsável por verificar a disponibilidade dos equipamentos.

Os cenários de verificação experimental para testar a função “Disponibilidade” no túnel são:

Cenário 1 – Neste cenário, desligam-se os disjuntores responsáveis por alimentar os circuitos de iluminação no PST1 e no PST2 e regista-se em tempo real a visualização e identificação da indisponibilidade desses dispositivos. Os sinalizadores de presença de alarmes (*led* vermelho), junto ao botão *reset*, presente nos PSTs e na galeria, começam a acender de forma intermitente, notificando o utilizador dessa indisponibilidade. O HMI notifica da indisponibilidade dos dispositivos, presente na Tabela C.1 do Anexo C. Os disjuntores são reativados e após cinco minutos voltam a estar novamente disponíveis, o sinalizador vermelho a piscar intermitente apaga-se e as notificações no HMI desaparecem. Os eventos ficam registados.

Cenário 2 – No segundo cenário, no quadro dos ventiladores do PST1, altera-se o modo da ventilação passando de automático para manual. De imediato o programa de automatização identifica os pares de ventiladores alimentados pelo PST1 como indisponíveis. Visualizam-se as alterações das variáveis temporárias, guardadas na DB, Anexo C. O sinalizador começa a piscar de forma intermitente e o HMI notifica o utilizador sobre a indisponibilidade desses ventiladores. Após a confirmação da leitura da informação, as indisponibilidades são visualizadas no menu da ventilação (Figura 4.44). Este cenário é testado no PST2, observando-se resultados semelhantes.

Cenário 3 – Coloca-se a ventilação no PST1 e no PST2, novamente em modo automático. O botão *reset* é acionado e os ventiladores passam para o estado disponível. O sinalizador de alarmes deixa de piscar e as notificações desaparecem.

Cenário 4 – O modo automático e o modo manual para a iluminação são testados no PST1 e no PST2. Verifica-se a indisponibilidade dos circuitos de iluminação no modo manual. O sinalizador começa a piscar e o HMI notifica o utilizador dessa indisponibilidade.

Cenário 5 – No quinto cenário, após o PLC efetuar o comando para ativar um par de ventiladores de forma automática, o disjuntor correspondente aos pares de ventiladores é desligado manualmente pelo o utilizador. O sinalizador começa a piscar e de imediato notifica no HMI como indisponível. Verifica-se na “DB alarmes”, Tabela B.1 presente no Anexo B responsável pela retenção de alarmes, a presença de um alarme associado ao disjuntor desativado. Uma vez que a função “Disponibilidade” está dependente da função “Retenção de Alarmes”, esse mesmo par de ventiladores é colocado como indisponível.

Os cenários, descritos anteriormente, de verificação experimental mostram que a automatização da função “Disponibilidade” desempenha corretamente as ações estipuladas, identificando as indisponibilidades. Esta função tomou as ações adequadas perante as situações de indisponibilidade, impedindo equipamentos de serem ativados, quando se encontram no estado indisponível. Verifica-se ainda, a notificação ao utilizador por meio do sinalizador e em detalhe no *display*.

5.1.2 Verificação experimental do funcionamento da iluminação

A função iluminação no túnel, está dividida em três seções: a secção exterior do túnel; a secção interior do túnel; o sistema de iluminação nas transições do túnel. Apresentam-se os cenários para verificação experimental da iluminação no exterior e no interior do túnel (galeria). Na secção 5.3 faz-se a verificação experimental do sistema de iluminação nas entradas e saídas do túnel.

Cenário 1 – No primeiro cenário, verificam-se os circuitos de iluminação das rotundas. No horário diurno a iluminação exterior encontra-se desligada, em concordância com o relógio astronómico. No horário noturno verifica-se que o relógio astronómico indica a ativação da iluminação exterior. A iluminação exterior é ativada, observando os resultados experimentais e verificando no HMI.

Cenário 2 – Testa-se a iluminação no interior do túnel, em conjugação com o detetor de movimento. Provocam-se movimentos de peões na galeria, no início da saída de emergência e no fim da saída de emergência. No percurso da saída de emergência há três circuitos de iluminação (E1, E2 e E3), ilustrado na Figura 3.2. O circuito E3 encontra-se constantemente ligado, juntamente com a iluminação ao longo do túnel e nos posto de SOS. No percurso de emergência é ativado o circuito de iluminação E1, durante um período de 15 minutos. Os cenários são observados no local e no HMI. Os resultados estão de acordo com o pretendido.

Cenário 3 – Após ativação do circuito de iluminação E1, pela sinalização do detetor de movimento, este é colocado indisponível desligando o disjuntor correspondente. É ativado o circuito iluminação redundante E2. O cenário é verificado no terreno e no HMI. O sinalizador de alarmes no PST1 começa a piscar e o HMI notifica ao utilizador a indisponibilidade do circuito E1. A visualização dos diferentes circuitos de iluminação é feita no menu Iluminação (Figura 4.45), no *display*.

Cenário 4 – Utilizam-se os circuitos E1 e E2 no estado disponível. Indica-se situação de incêndio no túnel, através do detetor de incêndio. Verifica-se a ativação do circuito de iluminação E2 no percurso da saída de emergência.

Os cenários de iluminação exterior e interior do túnel, mostram que a automatização da iluminação é ativada conforme estipulado pelo projetista. O PLC ativa a iluminação no exterior no período noturno e desativa no período diurno. Quanto à iluminação no interior, o PLC ativa mais um circuito de iluminação na saída de emergência após detetar movimento e na situação de incêndio. Perante o estado de indisponibilidade de um circuito de iluminação ativa um circuito de iluminação redundante.

5.1.3 Verificação experimental do funcionamento dos semáforos

Os semáforos, nas extremidades do túnel, são testados em vários cenários, que se descreve seguidamente:

Cenário 1 – No primeiro cenário, o túnel encontrava-se em estado normal e a luz verde do semáforo está ligado.

Cenário 2 – Este cenário, consiste em verificar uma situação de incêndio no túnel, pela ativação do detetor de incêndio. Os semáforos na extremidade passam a vermelho, sendo possível visualizá-los pessoalmente – através do quadro correspondente, que contém três *led* que representam as três cores do semáforo – e ainda foi possível observar a mesma situação no HMI.

Cenário 3 - No terceiro cenário, altera-se o estado dos semáforos de automático para manual no quadro correspondente. A cor amarela do semáforo começa a piscar. O sinalizador de alarmes no quadro de automação junto ao botão *reset* começa igualmente a piscar e no HMI visualiza-se a notificação sobre a indisponibilidade de comando do semáforo.

Conclui-se, pelos cenários da verificação experimental, que os semáforos funcionam de acordo com a automatização. O PLC efetua a ativação das diferentes cores do semáforo de acordo com o estado do túnel. Através do HMI é então possível visualizar o estado dos semáforos e as notificações de indisponibilidade de comando automático.

5.1.4 Funcionamento das sinalizações

A função responsável pelas sinalizações consiste em identificar os diferentes estados do equipamento, guardar essa informação na DB disponibilidade (Anexo C) e na DB retenção de alarmes (Anexo B) e reportar ao HMI. Apresentam-se alguns cenários de verificação experimental.

Cenário 1 – No primeiro cenário, no funcionamento normal, observa-se o estado do sinalizador de alarmes bem como o HMI, também responsável por notificar eventuais avarias. Direciona-se a atenção para um par de ventiladores específico e faz-se com que o seu estado varie entre ativo e desativo. Visualiza-se o seu funcionamento no HMI.

Cenário 2 – Neste cenário coloca-se o par de ventiladores no estado indisponível e a sinalização é visível no sinalizador a piscar intermitentemente e no display.

A verificação experimental mostra que o sinalizador encontra-se a funcionar corretamente. No HMI é possível visualizar o estado dos equipamentos.

5.1.5 Verificação experimental do funcionamento dos contadores

Os contadores, associados aos equipamentos, contam o número de horas de funcionamento e o número de manobras efetuadas. Verifica-se experimentalmente essa contagem.

Cenário 1 – Ativa-se os circuitos de iluminação e, por conseguinte, inicia-se a contagem do tempo de ativação e o número de manobras. Este processo é visualizado no HMI, no menu de horas de funcionamento e no menu número de manobras (Figura 4.46).

Cenário 2 – No segundo cenário efetua-se um *reset* num contador do tempo e num contador de número de manobras, através do *touchscreen* do HMI. Os valores da contagem ficam igual a zero.

Verifica-se experimentalmente que o programa de contagem está a funcionar corretamente. A contagem é importante para o sistema de ventilação e o sistema de iluminação para que haja equilíbrio no desgaste dos equipamentos e no mínimo de horas de utilização.

5.2 Verificação experimental do sistema de ventilação

O funcionamento da ventilação no túnel depende dos valores dos sensores de CO, de visibilidade e do detetor de incêndio. Com base na leitura destes sensores, o PLC indica se o túnel se encontra no seu estado normal ou em estado de incêndio.

No estado de funcionamento normal a ventilação do túnel funciona com base no *setpoint*, que é obtido nos sensores de CO e de visibilidade. No estado de incêndio, que pode ser detetado através dos sensores de CO e de visibilidade ou através do detetor de incêndio, indicando também a zona do início do fogo.

A Tabela 5.1 apresenta a automatização no funcionamento normal do túnel, na ausência de incêndio, da ventilação. No menu de simulação do HMI (Figura 4.50) ativa-se o modo simulação da ventilação e o *setpoint*, que é ajustado manualmente entre 0 e 4 – níveis de poluição e visibilidade, dentro do túnel. A Tabela 5.1 tem uma coluna designada de “Ordem de acionamento dos pares de ventiladores” que apresenta a sequência de acionamento dos pares de ventiladores com base na contagem do número de manobras. A coluna “Indisp.” indica se algum par de ventiladores se encontra indisponível. A coluna “Último a ser acionado” tem como função guardar a informação do acionamento do primeiro par de ventiladores, de uma sequência de acionamento. Se, na próxima ordem de acionamento o primeiro par de ventiladores é identificado como sendo o mesmo par da sequência anterior, então esse par passa para último a ser acionado. É importante referir que uma nova ordem de acionamento é definida

apenas quando o *setpoint* registrar 0 - níveis de poluição e visibilidade baixos. A última coluna apresenta os resultados obtidos na verificação experimental.

A Tabela 5.1 permite observar a sequência de ações efetuadas pela automatização da ventilação, com base na variação do *setpoint* aquando da verificação experimental.

Tabela 5.1 – Verificação experimental do sistema de ventilação do túnel em estado normal.

<i>Setpoint</i>	Ordem de acionamento dos pares de ventiladores	Indisp.	Último a ser acionado	Ações efetuadas
0	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	nenhum	nenhum	Não foi acionado nenhum par.
1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	nenhum	Par 1	Foram acionados os pares 1 e 2. Os contadores destes pares incrementaram.
0	3, 4, 5, 6, 7, 8, 1, 2	nenhum	Par 1	Desliga-se os pares 1 e 2 e como o <i>setpoint</i> registou 0, reordena-se a ordem de acionamento com base nos respetivos contadores.
1	3, 4, 5, 6, 7, 8, 1, 2	nenhum	Par 3	Aciona-se os pares 3 e 4 e incrementa-se contadores destes pares.
2	3, 4, 5, 6, 7, 8, 1, 2	nenhum	Par 3	Aciona-se mais dois pares de ventiladores, o 5 e 6, e incrementa-se os respetivos contadores
3	3, 4, 5, 6, 7, 8, 1, 2	nenhum	Par 3	Aciona-se mais quatro pares de ventiladores, o 7, 8, 1 e 2 e incrementa-se os respetivos contadores.
4 < 5min	3, 4, 5, 6, 7, 8, 1, 2	nenhum	Par 3	Manteve-se os 8 pares ligados. Verifica-se nível de <i>setpoint</i> a 4 num intervalo inferior a 5 minutos.
3	3, 4, 5, 6, 7, 8, 1, 2	nenhum	Par 3	Todos os pares de ventiladores continuam ligados.
2	3, 4, 5, 6, 7, 8, 1, 2	nenhum	Par 3	Os pares 7, 8, 1 e 2 são desligados.

<i>Setpoint</i>	Ordem de acionamento dos pares de ventiladores	Indisp.	Último a ser acionado	Ações efetuadas																
2	3, 4, 5, 6, 7, 8, 1, 2	Par 4	Par 3	É detetada uma avaria no par 4.																
2	3, 5, 6, 7, 8, 1, 2, 4	Par 4	Par 3	O par 4 é colocado em último, na ordem de acionamento, e substituído pelo próximo par disponível, sendo ativado o par 7.																
1	3, 5, 6, 7, 8, 1, 2, 4	Par 4	Par 3	Os pares 6 e 7 são desativados. Os pares 3 e 5 mantêm-se ligados.																
0	3, 5, 6, 7, 8, 1, 2, 4	Par 4	Par 3	Os pares 3 e 5 são desligados. Contadores dos ventiladores <table border="1" data-bbox="948 969 1394 1272"> <thead> <tr> <th>Par 1</th> <th>Par 2</th> <th>Par 3</th> <th>Par 4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <th>Par 5</th> <th>Par 6</th> <th>Par 7</th> <th>Par 8</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> <p>Quando o <i>setpoint</i> indica 0 é feita uma reordenação dos ventiladores, com base nos contadores, para o próximo arranque.</p>	Par 1	Par 2	Par 3	Par 4	2	2	1	1	Par 5	Par 6	Par 7	Par 8	1	1	2	1
Par 1	Par 2	Par 3	Par 4																	
2	2	1	1																	
Par 5	Par 6	Par 7	Par 8																	
1	1	2	1																	
0	5, 6, 8, 1, 2, 7, 3, 4	Par 4	Par 3	Segundo os contadores, a próxima ordem de arranque será: 3, 4, 5, 6, 8, 1, 2 e 7. Mas o par 3, como foi o primeiro a ser acionado na sequência anterior, passa para o fim na seguinte sequência. E como o par 4 está indisponível, este mantém-se em último.																

Este processo é visualizado no centro de controlo do túnel, no modo *online* e através do HMI. Conclui-se que o funcionamento está de acordo com os parâmetros definidos pelo projeto, especificados nos capítulos 3 e 4.

Para a verificação experimental da situação de incêndio, um dos cenários consiste em simular o *setpoint* através do menu da “Simulação no HMI”, bem como simular os valores obtidos pelo detetor de incêndio. Na Tabela 5.2 observa-se o comportamento da automatização da ventilação em situação de incêndio. Simula-se dois casos de incêndio. No primeiro os sensores de CO e visibilidade fornecem um *setpoint* de 4 durante mais do que cinco minutos. No segundo caso, a indicação de incêndio é dada pelo detetor de incêndio, juntamente com a zona em específico do incêndio. Consegue-se observar a ordem de acionamento perante as diferentes situações. Quando é conhecida a zona onde começa o incêndio, a ventilação funciona em função da zona onde é detetado o incêndio.

Tabela 5.2 – Verificação experimental do sistema de ventilação do túnel em estado de incêndio.

<i>Setpoint</i>	Detetor de Incêndio (zona)	Ordem de arranque	Ações efetuadas
Inferior a 4	Off	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	Não foi detetado incêndio.
4 durante mais do que 5 minutos	Off	8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1	Os ventiladores começam a trabalhar no sentido ascendente, de forma temporizada, pela ordem definida na coluna “Ordem de arranque”. Para manter a velocidade do fluxo do ar em 2 m/s. Sempre que este valor é ultrapassado, os ventiladores deligam-se em ordem decrescente e temporizada. Voltam a ligar-se quando a velocidade está abaixo dos 2 m/s.
4 durante mais do que 5 minutos	ON, incêndio na zona 5	8, 7, 6, 5, 1, 2, 3	O túnel está dividido em 11 zonas. Portanto, na zona 5 localiza-se o par de ventiladores 4. Este fica desativado por questões de segurança. A ordem de arranque dos ventiladores é do ponto mais distante do incêndio (ponto mais baixo do túnel) até à zona do incêndio e depois do ponto mais alto do túnel até ao incêndio. Os ventiladores funcionam no sentido ascendente e asseguram que a velocidade do fluxo do ar é de aproximadamente igual a 2 m/s.

Conclui-se nesta verificação experimental, que o PLC desempenha corretamente as funções implementadas. Quando o incêndio é detetado através dos níveis de poluição e visibilidade a

ventilação longitudinal funciona no sentido ascendente, sem preocupação com a localização do incêndio, por ser desconhecida essa informação. Regula-se a velocidade do fluxo do ar a 2 m/s. Quando o incêndio é detetado pelo detetor de incêndio, através da fibra ótica, o sensor sinaliza a zona de início do incêndio e o PLC inicia a ventilação tendo em consideração a localização do incêndio.

5.3 Verificação experimental do sistema de iluminação

A iluminação, nos limiares do túnel, funciona com base nos valores obtidos pelo luminâncímetro. O valor de luminância medido varia entre 0 e 10000 cd/m². Os intervalos são definidos por um *setpoint*, presente na Tabela 3.1. De acordo com o *setpoint*, são acionados os circuitos de iluminação para adaptar a visão humana na entrada e saída do túnel.

A Tabela 5.3 mostra as ações efetuadas pelo sistema de automatização da iluminação com base no *setpoint* simulado através do menu “Simulação” (Figura 4.50).

A coluna “Ordem de arranque” subdivide-se em duas colunas para os mesmos circuitos, isto porque cada circuito contém dois níveis de luminosidade, 200 W e 400 W, sendo que os circuitos 100% estão dependentes dos circuitos a 50%.

Tabela 5.3 – Verificação experimental do sistema de iluminação.

<i>Setpoint</i>	Ordem de arranque		Indisp.	Ações efetuadas
	Circuito 50% (200 W)	Circuito 100% (400 W)		
0	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4	nenhum	Todos os circuitos estão desligados.
1	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4	nenhum	Os circuitos 1 e 2 ligam-se a 50% e os contadores associados são incrementados.
0	3, 4, 1, 2	1, 2, 3, 4	nenhum	Os circuitos 1 e 2, a 50%, são desligados. Como o <i>setpoint</i> está a 0, há uma reordenação de arranque com base nos contadores dos circuitos de iluminação.
1	3, 4, 1, 2	1, 2, 3, 4	nenhum	Os circuitos 3 e 4, a 50%, são acionados e os respetivos contadores são incrementados.
2	3, 4, 1, 2	1, 2, 3, 4	nenhum	Os circuitos 1 e 2, a 50%, são acionados e os contadores são incrementados.

Setpoint	Ordem de arranque		Indisp.	Ações efetuadas																
	Circuito 50% (200 W)	Circuito 100% (400 W)																		
3	3, 4, 1, 2	1, 2, 3, 4	nenhum	Os circuitos 1 e 2, a 100%, são acionados e os contadores são incrementados.																
2	3, 4, 1, 2	1, 2, 3, 4	nenhum	Os circuitos 1 e 2, a 100%, são desligados.																
1	3, 4, 1, 2	1, 2, 3, 4	nenhum	Os circuitos 1 e 2, a 50%, são desligados.																
0	3, 4, 1, 2	1, 2, 3, 4	nenhum	Os circuitos 3 e 4, a 50%, são desligados. Estado dos contadores dos circuitos <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>1 a 50%</td> <td>2 a 50%</td> <td>3 a 50%</td> <td>4 a 50%</td> </tr> <tr> <td>2 min</td> <td>2 min</td> <td>1 min</td> <td>1 min</td> </tr> <tr> <td>1 a 100%</td> <td>2 a 100%</td> <td>3 a 100%</td> <td>4 a 100%</td> </tr> <tr> <td>1 min</td> <td>1 min</td> <td>0 min</td> <td>0 min</td> </tr> </table>	1 a 50%	2 a 50%	3 a 50%	4 a 50%	2 min	2 min	1 min	1 min	1 a 100%	2 a 100%	3 a 100%	4 a 100%	1 min	1 min	0 min	0 min
1 a 50%	2 a 50%	3 a 50%	4 a 50%																	
2 min	2 min	1 min	1 min																	
1 a 100%	2 a 100%	3 a 100%	4 a 100%																	
1 min	1 min	0 min	0 min																	
0	3, 4, 1, 2	3, 4, 1, 2	nenhum	Os circuitos de iluminação estão todos desligados e há uma reordenação do acionamento.																
1	3, 4, 1, 2	3, 4, 1, 2	nenhum	Os circuitos 3 e 4 a 50 % são acionados e os respectivos contadores incrementados.																
2	3, 1, 2, 4	1, 2, 3, 4	3 a 100% 4 a 50%	É detetado uma avaria no circuito 3 a 100% e no circuito 4 a 50%. Automaticamente o circuito 3 a 100% é colocado nos últimos da lista. Quanto ao circuito 4 a 50%, o PLC assume que o circuito 4 a 100% também está indisponível e																

Setpoint	Ordem de arranque		Indisp.	Ações efetuadas																
	Circuito 50% (200 W)	Circuito 100% (400 W)																		
				coloca em último a ser acionado. Sendo que estes nunca terão comando para serem acionados sem antes estarem disponíveis. Desta forma os circuitos 3, 1 e 2 a 50 % estão ativados juntamente com o circuito 1 a 100%.																
1	3, 1, 2, 4	1, 2, 3, 4	3 a 100% 4 a 50%	O circuito 1 a 100% é desativado juntamente com o circuito 2 a 50%. Estado dos contadores <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>1 a 50%</td> <td>2 a 50%</td> <td>3 a 50%</td> <td>4 a 50%</td> </tr> <tr> <td>3 min</td> <td>3 min</td> <td>2 min</td> <td>2 min</td> </tr> <tr> <td>1 a 100%</td> <td>2 a 100%</td> <td>3 a 100%</td> <td>4 a 100%</td> </tr> <tr> <td>2 min</td> <td>1 min</td> <td>0 min</td> <td>0 min</td> </tr> </table>	1 a 50%	2 a 50%	3 a 50%	4 a 50%	3 min	3 min	2 min	2 min	1 a 100%	2 a 100%	3 a 100%	4 a 100%	2 min	1 min	0 min	0 min
1 a 50%	2 a 50%	3 a 50%	4 a 50%																	
3 min	3 min	2 min	2 min																	
1 a 100%	2 a 100%	3 a 100%	4 a 100%																	
2 min	1 min	0 min	0 min																	
0	3, 1, 2, 4	2, 1, 3, 4	3 a 100% 4 a 50%	Todos os circuitos são desligados. Com o <i>setpoint</i> a zero é definida uma nova ordem de acionamento, tendo em conta os contadores e as indisponibilidades.																
0	3, 4, 1, 2	3, 4, 2, 1	nenhum	Nenhum circuito indisponível. Nova ordem representada na coluna ordem de arranque.																

Após a verificação experimental, descrita na Tabela 5.3, conclui-se que o sistema de iluminação nas transições do túnel funciona como pretendido, uma vez que foram ativados e desativados os circuitos de iluminação de acordo com o nível de *setpoint*, obtido através do luminâncímetro. Verificou-se uma boa implementação do sistema de iluminação, visto que se conseguiu ligar e desligar circuitos de iluminação de forma a aproximar a luminância exterior à interior, principalmente nas zonas de transição, para que o condutor não tenha uma mudança de luz brusca, evitando assim acidentes de circulação.

6 Conclusões e trabalhos futuros

Nesta secção são apresentadas as conclusões mais relevantes relativamente ao desenvolvimento do projeto, bem como são indicadas algumas propostas de trabalhos futuros.

6.1 Conclusão

Com esta dissertação concluiu-se que a automatização desempenha um papel fulcral no funcionamento dos túneis rodoviários, na medida em que permite compreender as necessidades de otimizar o controlo e segurança dos equipamentos, beneficiando a população e consequentemente o tráfego automóvel, principalmente em situações de emergência.

No dimensionamento de um túnel rodoviário é necessário ter em conta a regulamentação atual, que incide nos requisitos de segurança, prevenindo situações críticas que possam colocar em perigo a vida humana e a própria infraestrutura. Neste caso de estudo é aplicada uma galeria de emergência, ventilação longitudinal, iluminação de emergência, normal e de segurança, bem como sinalização.

O sistema de ventilação longitudinal contemplou 8 pares de ventilação a funcionar de acordo com os níveis de visibilidade e de CO definidos, quer nas tarefas quotidianas, que se prendem com a diminuição da concentração de gases poluentes e no aumento da visibilidade, quer nas de emergência, que se prendem com a “limpeza” do túnel, mais concretamente com a expulsão do fumo.

A iluminação interna contribui para uma boa visualização do túnel, facilitando a circulação, estando permanentemente ligada. Concluiu-se que a iluminação na entrada e saída do túnel revela uma importância crucial para a visibilidade dos condutores, evitando assim acidentes de trânsito.

A unidade do centro de controlo e segurança comandada pelo PLC revela ser fundamental, pois agrega todos os equipamentos do túnel num só local, facilitando a monitorização, comando, simulação e visualização dos processos automáticos.

A alimentação elétrica do túnel é feita através de dois postos de secção e transformação, um em cada extremidade. Os circuitos implementados foram concebidos de forma a que o túnel funcione de forma automática e de forma manual. Em modo manual é possível testar todos os equipamentos instalados no túnel ignorando a automatização, no entanto no modo automático não é necessária a intervenção humana para o funcionamento do túnel.

O sistema de automatização do túnel implementado verifica o correto funcionamento das funções responsáveis pela retenção de alarmes e disponibilidade dos equipamentos. Pois, no funcionamento do túnel é possível receber alarmes aquando do comando de acionamento e os respetivos equipamentos não funcionam, bem como na verificação da operacionalidade dos equipamentos de forma automática por parte do PLC.

Relativamente ao funcionamento da iluminação no exterior, verifica-se o seu correto funcionamento no período noturno e diurno de forma automática. Quanto à iluminação da galeria de emergência com acesso ao exterior, verifica-se o bom funcionamento dos detetores de movimento, isto é, ao detetar movimento em ambas as extremidades da saída de emergência, ativam imediatamente um circuito extra de iluminação nesse percurso. Num eventual estado de incêndio verifica-se também a ativação de um circuito extra de iluminação no percurso da saída de emergência, tal como pretendido.

Com a implementação dos semáforos nas entradas do túnel controla-se o acesso. Em situação normal o semáforo apresenta luz verde, porém quando o túnel está em estado de incêndio este passa a vermelho.

O sistema de ventilação longitudinal revela-se o mais adequado para este túnel visto ter um comprimento de aproximadamente mil metros. Com o sistema de ventilação automatizado a ventilação funciona no seu quotidiano de acordo com os níveis de poluição dentro do mesmo e no sentido natural do fluxo do ar. Em situação de incêndio a ventilação desempenha um papel importante na desenfumagem do túnel. Sendo acionados os ventiladores no sentido ascendente, de forma automática e tendo em conta a zona de incêndio.

As sinalizações revelaram extrema importância, uma vez que através das mesmas é possível detetar avarias através da ativação de um *led* vermelho em cada PST e visualizar no HMI o estado dos diferentes equipamentos. Desta forma, através do HMI verifica-se o correto funcionamento do programa desenvolvido no *software TIA Portal* sendo possível visualizar os acontecimentos do túnel em tempo real.

O funcionamento dos contadores, sendo este outro processo implementado, revela estar em plenas funções, pressupondo que juntamente com a ativação de um equipamento, esse faça a contagem do tempo de funcionamento, bem como do número de manobras que efetua. Facultando assim a importação no HMI para monitorização dos equipamentos.

Em suma, toda a infraestrutura que compõe o túnel está capacitada de automatismos capazes de analisar dados em tempo real, reportá-los e através deles resolver uma panóplia de processos inerentes ao funcionamento bem-sucedido.

6.2 Trabalhos futuros

Implementar um centro de segurança e controlo, porém remoto. Com um sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) que tem por objetivo principal a propiciação de uma interface de alto nível do operador com o processo, informando-o "em tempo real" dos eventos, processo este que já se encontra implementado localmente no túnel.

Instalação de comunicação RF, redundante do sistema de comunicação em fibra ótica para que se consiga manter a comunicação entre os equipamentos mesmo em situações adversas.

7 Referências

- [1] A. R. Londral, “vias rodoviárias,” *Aprender Madeira*, 20 05 2016. [Online]. Available: <http://aprendermadeira.net/vias-rodoviaras/>. [Acedido em 2018].
- [2] P. d. C. d. Ministros, *Ministério da economia - Decreto-Lei n.º 75/2014 de 13 de Maio*, Portugal: Diário da República, 2014.
- [3] P. Miclea, W. Chow, C. Shen-Wen, J. Li, A. Kashef e K. Kang, “International tunnel fire-safety design practices,” *ASHRAE journal*, vol. 49, nº 8, pp. 50-60, 2007.
- [4] W. Huang, J. Tan, H. Kan, Z. Ni, W. Song, G. Song, G. Chen, L. Jiang, C. Jiang, R. Chen e B. Chen, “Visibility, air quality and daily mortality in Shanghai, China,” *Science of the Total Environment*, vol. 407, nº 10, pp. 3295-3300, 2009.
- [5] M. Delucchi, J. Murphy e D. McCubbin, “The Health and Visibility Cost of Air Pollution: A Comparison of Estimation Methods,” *Journal of Environmental Management*, vol. 64, nº 2, pp. 139-152, 2002.
- [6] S. R. a. Maritime, “Road Tunnels - Ventilation Systems,” 07 2014. [Online]. Available: http://www.chiefscientist.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0009/54792/Road-Tunnels_TP04_Road-Tunnel-Ventilation-Systems.pdf. [Acedido em 2018].
- [7] J. Modic, “Fire simulation in road tunnels,” *Tunnelling and underground space technology*, vol. 18, nº 5, pp. 525-530, 2003.
- [8] H. G. Limited, *Tunnel Ventilation Segment Brochure*, 2016.
- [9] S. O'Gorman, R. Nuttall e A. Purchase, “An investigation of longitudinal ventilation for short road tunnels with high fire HRR,” em *International Conference Tunnel Safety and Ventilation*, Graz, 2012.
- [10] H. Ingason e A. Lönnemark, “Heat release rates from heavy goods vehicle trailer fires in tunnels,” *Fire Safety Journal*, vol. 40, nº 7, pp. 646-668, 2005.
- [11] S. O'Gorman, R. Nuttall e A. Purchase, “6th International Conference ‘Tunnel Safety and Ventilation’,” *An investigation of longitudinal ventilation for short road tunnels with high fire hrr*, pp. 149-155, 2012.
- [12] S. Burghard e O. Fischer, “A new approach in the structural fire design of tunnel linings,” em *4th Annual International Conference on Architecture and Civil Engineering*, 2016.

- [13] B. Y. J. Sangbok Lee, "Safety and Health at Work," *Comparisons of Traffic Collisions between Expressways and Rural Roads in Truck Drivers*, vol. 7, pp. 38-42, March 2016.
- [14] D. Zhigang, Z. Zheng, M. Zheng, B. Ran e X. & Zhao, "Drivers' visual comfort at highway tunnel portals: A quantitative analysis based on visual oscillation," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 31, pp. 37-47, 2014.
- [15] D. D. Schreuder, "The lighting of traffic tunnels," 1988.
- [16] ONAYG', Sermin for Faculty of Electric and Electronic Engineering, Istanbul Technical University, "Parameters Affecting the Determination of the Tunnel Threshold-Zone Luminance," 09 1999.
- [17] S. O. Önder GÜLER, "A New Criterion for Road Lighting: Average Visibility Level Uniformity for The Illuminating Engineering Institute of Japan," vol. 27, 2003.
- [18] A. Francisco, *Autómatos Programáveis - 5ª Edição Atualizada*, Lisboa: ETEP - Edições Técnicas e Profissionais, 2005.
- [19] W. Bolton, *Programmable Logic Controllers*, London: Newnes, 2000.
- [20] R. F. M. Gomes, "Conversor entre linguagens IEC61131-3," *Dissertação de Mestrado, FEUP*, 20 02 2014/2015.
- [21] M. T. Karl-Heinz John, *IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems - Concepts and Programming Languages, Requirements for Programming Systems, Aids to Decision-Making Tools*, Germany: Springer, New York, 2001.
- [22] S. Bassan, "Overview of traffic safety aspects and design in road tunnels," *IATSS Research*, vol. 40, nº 1, pp. 35-46, 2016.
- [23] M. El-Fadel e Z. Hashisho, "Vehicular Emissions in Roadway Tunnels: A Critical Review," *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 31, nº 2, pp. 125-174, 2001.
- [24] E. Ronchi, P. Colonna, J. Capote, D. Alvear, N. Berloco e A. Cuesta, "The evaluation of different evacuation models for assessing road tunnel safety analysis," *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 30, pp. 74-84, 2012.
- [25] S. Zampolli, I. Elmi, F. Ahmed, M. Passini, G. Cardinali, S. Nicoletti e L. Dori, "An electronic nose based on solid state sensor arrays for low-cost indoor air quality monitoring applications," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 101, nº 1-2, pp. 39-46, 2004.

- [26] M. B. e. Santos, *Espectroscopia (Princípios de química-física)*, Portugal ed., T. d. Lisboa, Ed., Março, Santos, M.N. Berberan e, p. Lisboa.
- [27] CODEL International Ltd, *TunnelTech 202 for Road Tunnel Atmosphere Monitoring Systems - CO and Visibility Monitor*, 2015.
- [28] P. Werle, F. Slemr, K. Maurer, R. Kormann, R. Mücke e B. Jänker, “Near- and mid-infrared laser-optical sensors for gas analysis,” *Optics and Lasers in Engineering*, vol. 37, nº 2-3, pp. 101-114, 2002.
- [29] J. M. Filho, G. A. C. Nonato, E. T. Miyamoto, J. W. Scucuglia, L. C. C. Júnior, A. M. Reis, M. Suzuqui e U. C. Faria, “Desenvolvimento de Sensor Infravermelho para Detecção on-line de Gases Dissolvidos em Óleo Isolante de Transformadores,” *Artigo Científico*, pp. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 2007.
- [30] J. Mellqvist e A. Rosén, “DOAS for flue gas monitoring—II. Deviations from the Beer-Lambert law for the UV/visible absorption spectra of NO, NO₂, SO₂ and NH₃,” *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, vol. 56, nº 2, pp. 209-224, 1996.
- [31] X. Tian, M. Zhong, C. Shi, P. Zhang e C. Liu, “Full-scale tunnel fire experimental study of fire-induced smoke temperature profiles with methanol-gasoline blends,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 116, pp. 233-243, 2017.
- [32] CODEL International Ltd., *TunnelTech 301 for Road Tunnel Atmosphere Monitoring Systems - Air Flow Monitor*, 2015.
- [33] M. Samer, C. Loebstin, K. Bobrutzki, M. Fiedler, C. Ammona, W. Berga, P. Sanftleben e R. Brunscha, “A computer program for monitoring and controlling ultrasonic anemometers for aerodynamic measurements in animal buildings,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 79, nº 1, pp. 1-12, 2011.
- [34] N. Kato, T. Ohkuma, J. Kim, H. Marukawa e Y. Niihori, “Full scale measurements of wind velocity in two urban areas using an ultrasonic anemometer,” *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 41, nº 1-3, pp. 67-78, 1992.
- [35] M. del Valle, J. A. U. Castelan, Y. Matsumoto e R. Mateos, “Low cost ultrasonic anemometer,” em *International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, México, 2007.
- [36] N. Mortensen, “Wind measurements for wind energy applications. A review,” em *16th British Wind Energy Association Conference*, Reino Unido, 1994.

- [37] Y. Zhou e Y. Wang, “To Measure Wind Speed using the theory of One-dimensional Ultrasonic Anemometer,” Faculty of engineering and sustainable development , Suécia, 2011.
- [38] D. Han, S. Kim e S. Park, “Two-dimensional ultrasonic anemometer using the directivity angle of an ultrasonic sensor,” *Microelectronics Journal*, vol. 39, nº 10, pp. 1195-1199, 2008.
- [39] D. Han e S. Park, “A study on characteristics of continuous wave ultrasonic anemometer,” em *In 2011 IEEE Sensors Applications Symposium*, pp. 119-122, Texas, USA, 2011.
- [40] T. Agarwal, “Photodiode Working Principle, Characteristics and Applications,” [Online]. Available: <https://www.elprocus.com/photodiode-working-principle-applications/>. [Acedido em 2018].
- [41] Tunnel Sensors Ltd, *LUMIOS MkIII - Luminance Photometer for Tunnels*.
- [42] V. de Araújo Moreira, *Iluminação e fotometria: teoria e aplicação*, E. Blucher, 1987.
- [43] G. J. C. da Costa, *Iluminação econômica: cálculo e avaliação*, vol.5, Edipucrs, 2006.
- [44] J. Yun e S. Lee, “Human Movement Detection and Identification Using Pyroelectric Infrared Sensors,” *Sensors*, vol. 14, nº 5, pp. 8057-8081, 2014.
- [45] M. Moghavvemi e L. Seng, “Pyroelectric infrared sensor for intruder detection,” em *In 2004 IEEE Region 10 Conference TENCON 2004*, Chiang Mai, Thailand, 2004.
- [46] A. Kashef, Z. Liu, G. Lougheed, G. Crampton, K. Yoon, G. Hadjisophocleous e K. Almand, “ Findings of the international road tunnel fire detection research project,” *Fire technology*, vol. 45, nº 2, pp. 221-237, 2009.
- [47] T. Aralt e A. R. Nilsen, “Automatic fire detection in road traffic tunnels,” *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 24, nº 1, pp. 75-83, 2009.
- [48] J. P. Dakin, D. J. Pratt, G. W. Bibby e J. N. Ross, “Distributed optical fibre Raman temperature sensor using a semiconductor light source and detector,” *Electronics letters*, vol. 21, nº 13, pp. 569-570, 1985.
- [49] D. A. Krohn, T. MacDougall e A. Mendez, *Fiber optic sensors: fundamentals and applications*, Bellingham: Spie Press, 2014.

- [50] LIOS Technology GmbH, *Fibre Optic Linear Heat Detection - Optimum Safety in Tunnels and Special Hazard Buildings*, 2014.
- [51] L. A. Gomes, *Métodos de Medição de Fibras Óticas*, UMA, Funchal.
- [52] N. Buzgar, A. I. Apopei e A. Buzatu, “Quantum and Classical Raman theory,” 2009. [Online]. Available: <http://www.rdrs.ro/blog/quantum-classical-raman-theory/>. [Acedido em 2018].
- [53] R. L. McCreery, Raman Spectroscopy for Chemical Analysis, J. D. Winefordner, Ed., New York I Chichester I Weinheim I Brisbane I Singapore I Toronto: A John Wiley & Sons, INC.m Publication, 2000.
- [54] IP – Infraestruturas de Portugal, S.A., “Assessoria técnica à IP - Infraestruturas de Portugal, S.A. para a conclusão do empreendimento do túnel do Marão no âmbito dos equipamentos e sistemas de segurança - Parecer sobre a segurança,” Lisboa, 2016.
- [55] Governo Regional da R.A.M - Secretaria Regional dos Assuntos Parlamentares e Europeus - Direção Regional das Estradas, *Obras acessórias tomo iii – eletricidade, iluminação, ventilação e equipamento eletromecânico, sistemas de segurança e controlo*, 2017.
- [56] Siemens, SA, *SIMATIC S7-1500 - Manual*, 2016.
- [57] Siemens, *SIMATIC S7-1500 mais TIA Portal (Potência + Eficiência)*, 2015.
- [58] Siemens, *A nova geração de estações remotas*.
- [59] Siemens, *SIMATIC HMI Panels - Operator Panels for All Requirements – and All Demands*, 2008.
- [60] FINDER, *Série 18 - Sensor de movimento 10 A*, 2016.
- [61] T. -. R. & R. T. S. Solutions, *TA PC - Semáforo LED de policarbonato en Ø 200-300 mm*, 2013.
- [62] Siemens, *Data sheet 3RW44 24-1BC44*, 2017.
- [63] Siemens, *Data sheet 3RW40 36-1BB14*, 2016.
- [64] DOLD, *Installation- / Monitoring Technique - VARIMETER EDS Insulation fault locator RR 5887*, 2014.

[65] DOLD, *Monitoring Technique - VARIMETER IMD - Insulation Monitor RN 5897*, 2006.

[66] DOLD, *Installation- / Monitoring Technique - VARIMETER EDS - Locating current injector RR 5886*, 2014.

Anexo A – Entradas e saídas do PLC

Nas Tabela A.1, Tabela A.2 e Tabela A.3 encontra-se informação sobre os endereços de entrada e saída do PLC. Entradas providas dos diferentes equipamentos instalados no túnel e saídas para comandos os equipamentos.

A Tabela A.1 apresenta dos endereços de entrada e saída da estação remota instalada no PST1.

Tabela A.1 – Endereços de entrada e saída da estação remota instalada no PST1

Nome	Tipo de dados	Endereço
Tun_01_S_Man_Ilum_Ref	Bool	%I0.0
Tun_01_Ilum_1_Rotunda_Ligado	Bool	%I0.1
Tun_01_Disp_Protec_Ilum_1_Rotunda_(D1)	Bool	%I0.2
Tun_01_Ilum_Circ_A1_Ligado	Bool	%I0.3
Tun_01_Disp_Protec_Ilum_Circ_A1_(D2)	Bool	%I0.4
Tun_01_Ilum_Circ_A2_Ligado	Bool	%I0.5
Tun_01_Disp_Protec_Ilum_Circ_A2_(D3)	Bool	%I0.6
Tun_01_Ilum_Circ_A3_Ligado	Bool	%I0.7
Tun_01_Disp_Protec_Ilum_Circ_A3_(D4)	Bool	%I1.0
Tun_01_Ilum_Circ_A4_Ligado	Bool	%I1.1
Tun_01_Disp_Protec_Ilum_Circ_A4_(D5)	Bool	%I1.2
Tun_01_Ilum_Circ_A5_Ligado	Bool	%I1.3
Tun_01_Disp_Protec_Ilum_Circ_A5_(D10)	Bool	%I1.4
Tun_01_Ventil_Sala_Quadros_Ligado	Bool	%I1.5
Tun_01_Disp_Protec_Ventil_Sala_Quadros(D6/D7)	Bool	%I1.6
Tun_01_Disp_Protec_Reserva_(D8)	Bool	%I1.7
Tun_01_Disp_Protec_Reserva_(D9)	Bool	%I2.0
Tun_01_Disp_Protec_UPS_(D11)	Bool	%I2.1
Tun_01_Disp_Protec_PST1_QE1_2_Rede_(D12)	Bool	%I2.2
Tun_01_Disp_Protec_Trafo_Isol_(D13)	Bool	%I2.3
Tun_01_Disp_Protec_Tom_Sala_Quadros_(D14)	Bool	%I2.4

Nome	Tipo de dados	Endereço
Tun_01_Disp_Protec_Reserva_(D15)	Bool	%I2.5
Tun_01_Disp_Protec_Reserva_(D16)	Bool	%I2.6
Tun_01_Disp_Protec_Cmd_Ilum_(D17/D18)	Bool	%I2.7
Tun_01_Ilum_Circ_A1_Ligado_100%	Bool	%I3.0
Tun_01_Disp_Protec_Ilum_Circ_A1_100%_(D20)	Bool	%I3.1
Tun_01_Ilum_Circ_A2_Ligado_100%	Bool	%I3.2
Tun_01_Disp_Protec_Ilum_Circ_A2_100%_(D21)	Bool	%I3.3
Tun_01_Ilum_Circ_A3_Ligado_100%	Bool	%I3.4
Tun_01_Disp_Protec_Ilum_Circ_A3_100%_(D22)	Bool	%I3.5
Tun_01_Ilum_Circ_A4_Ligado_100%	Bool	%I3.6
Tun_01_Disp_Protec_Ilum_Circ_A4_100%_(D23)	Bool	%I3.7
Tun_01_S_Man_Vent	Bool	%I4.0
Tun_01_Disp_Protec_Cmd_Vent_(D1_a_D4)	Bool	%I4.1
Tun_01_Vent_Auto_Ligada_Sent_BV	Bool	%I4.2
Tun_01_Vent_Auto_Ligada_Sent_SV	Bool	%I4.3
Tun_01_KSFF	Bool	%I4.4
VE_01_Ligado_BV	Bool	%I4.5
VE_01_Ligado_SV	Bool	%I4.6
VE_01_Avaria	Bool	%I4.7
VE_02_Ligado_BV	Bool	%I5.0
VE_02_Ligado_SV	Bool	%I5.1
VE_02_Avaria	Bool	%I5.2
VE_03_Ligado_BV	Bool	%I5.3
VE_03_Ligado_SV	Bool	%I5.4
VE_03_Avaria	Bool	%I5.5
VE_04_Ligado_BV	Bool	%I5.6
VE_04_Ligado_SV	Bool	%I5.7

Nome	Tipo de dados	Endereço
VE_04_Avaria	Bool	%I6.0
VE_05_Ligado_BV	Bool	%I6.1
VE_05_Ligado_SV	Bool	%I6.2
VE_05_Avaria	Bool	%I6.3
VE_06_Ligado_BV	Bool	%I6.4
VE_06_Ligado_SV	Bool	%I6.5
VE_06_Avaria	Bool	%I6.6
VE_07_Ligado_BV	Bool	%I6.7
VE_07_Ligado_SV	Bool	%I7.0
VE_07_Avaria	Bool	%I7.1
VE_08_Ligado_BV	Bool	%I7.2
VE_08_Ligado_SV	Bool	%I7.3
VE_08_Avaria	Bool	%I7.4
Tun_01_Alarme_CPI	Bool	%I7.5
Tun_01_Pré-Alarme_CPI	Bool	%I7.6
Tun_01_Pré-Alarme_Defeito_VE_01_a_VE_08	Bool	%I7.7
Tun_01_Alarme_Defeito_VE_01_a_VE_08	Bool	%I8.0
Tun_01_S_Man_Ilum_Central+Gal_01	Bool	%I8.1
Tun_01_Ilum_Circ_A6_Ligado	Bool	%I8.2
Tun_01_Disp_Protec_Ilum_Circ_A6_(D1)	Bool	%I8.3
Tun_01_Ilum_Gal_01_Circ_E1_Ligado	Bool	%I8.4
Tun_01_Disp_Protec_Ilum_Gal_01_Circ_E1_(D2)	Bool	%I8.5
Tun_01_Ilum_Gal_01_Circ_E2_Ligado	Bool	%I8.6
Tun_01_Disp_Protec_Ilum_Gal_01_Circ_E2_(D3)	Bool	%I8.7
Tun_01_Disp_Protec_PST1_QE1_2_1_(D4)	Bool	%I9.0
Tun_01_Disp_Protec_Bastidor_Circ_01_(D5)	Bool	%I9.1
Tun_01_Disp_Protec_Bastidor_Circ_02_(D6)	Bool	%I9.2

Nome	Tipo de dados	Endereço
Tun_01_Disp_Protec_Bastidor_Circ_03_(D7)	Bool	%I9.3
Tun_01_Disp_Protec_LUM_01_(D8)	Bool	%I9.4
Tun_01_Disp_Protec_SOS_01_(D9)	Bool	%I9.5
Tun_01_Disp_Protec_SOS_02_a_SOS_05_(D10)	Bool	%I9.6
Tun_01_Disp_Protec_PST1_QE1_2_2_(D11)	Bool	%I9.7
Tun_01_Disp_Protec_D_M_(D12)	Bool	%I10.0
Tun_01_Disp_Protec_Semaforo_(D16)	Bool	%I10.1
Tun_01_Disp_Protec_Cmd_Ilum_Central_(D17/D18)	Bool	%I10.2
Tun_01_Disp_Protec_Desc_Sobreten_OK	Bool	%I10.3
Tun_01_Semaforo_Manual_VM/_AM	Bool	%I10.4
Tun_01_Semaforo_VM_Ligado	Bool	%I10.5
Tun_01_Semaforo_AM_Ligado	Bool	%I10.6
Tun_01_Semaforo_VD_Ligado	Bool	%I10.7
Tun_01_D_M	Bool	%I11.0
Tun_01_S_Reset	Bool	%I11.1
Tun_01_CO_01_Validacao	Bool	%I11.2
Tun_01_VIS_01_Validacao	Bool	%I11.3
Tun_01_Reserva	Bool	%I11.4
Tun_01_UPS_Bateria_Fraca	Bool	%I11.5
Tun_01_UPS_Falha_400Vac	Bool	%I11.6
Tun_01_UPS_Desligada	Bool	%I11.7
Tun_01_LUM_01_Nivel_1	Bool	%I12.0
Tun_01_LUM_01_Nivel_2	Bool	%I12.1
Tun_01_LUM_01_Nivel_3	Bool	%I12.2
Tun_01_LUM_01_Nivel_4	Bool	%I12.3
FBL_Out_1	Bool	%I12.4
FBL_Out_2	Bool	%I12.5

Nome	Tipo de dados	Endereço
FBL_Out_3	Bool	%I12.6
FBL_Out_4	Bool	%I12.7
FBL_Out_5	Bool	%I13.0
FBL_Out_6	Bool	%I13.1
FBL_Out_7	Bool	%I13.2
FBL_Out_8	Bool	%I13.3
FBL_Out_9	Bool	%I13.4
FBL_Out_10	Bool	%I13.5
FBL_Out_11	Bool	%I13.6
FBL_Out_12	Bool	%I13.7
Tun_01_OPA_01_CO	Int	%IW256
Tun_01_OPA_01_VIS	Int	%IW258
Tun_01_LUM_01	Int	%IW260
Tun_01_Reserva_IW262	Int	%IW262
Tun_01_Ligar_Ilum_1_Rotunda	Bool	%Q0.0
Tun_01_Ligar_Ilum_Circ_A1	Bool	%Q0.1
Tun_01_Ligar_Ilum_Circ_A2	Bool	%Q0.2
Tun_01_Ligar_Ilum_Circ_A3	Bool	%Q0.3
Tun_01_Ligar_Ilum_Circ_A4	Bool	%Q0.4
Tun_01_Ligar_Ilum_Circ_A5	Bool	%Q0.5
Tun_01_Ligar_Ilum_Circ_100%_A1	Bool	%Q0.6
Tun_01_Ligar_Ilum_Circ_100%_A2	Bool	%Q0.7
Tun_01_Ligar_Ilum_Circ_100%_A3	Bool	%Q1.0
Tun_01_Ligar_Ilum_Circ_100%_A4	Bool	%Q1.1
Tun_01_Ligar_VE_01	Bool	%Q1.2
Tun_01_Ligar_VE_02	Bool	%Q1.3
Tun_01_Ligar_VE_03	Bool	%Q1.4

Nome	Tipo de dados	Endereço
Tun_01_Ligar_VE_04	Bool	%Q1.5
Tun_01_Ligar_VE_05	Bool	%Q1.6
Tun_01_Ligar_VE_06	Bool	%Q1.7
Tun_01_Ligar_VE_07	Bool	%Q2.0
Tun_01_Ligar_VE_08	Bool	%Q2.1
Tun_01_Ligar_Sent_BV	Bool	%Q2.2
Tun_01_Ligar_Sent_SV	Bool	%Q2.3
Tun_01_H_Vent_Auto	Bool	%Q2.4
Tun_01_Ligar_Ilum_Circ_A6	Bool	%Q2.5
Tun_01_Gal_01_Ligar_Ilum_Circ_1	Bool	%Q2.6
Tun_01_Gal_01_Ligar_Ilum_Circ_2	Bool	%Q2.7
Tun_01_Ligar_Semaforo_VM	Bool	%Q3.0
Tun_01_Ligar_Semaforo_AM	Bool	%Q3.1
Tun_01_Ligar_Semaforo_VD	Bool	%Q3.2
Tun_01_FBL_IN_1	Bool	%Q3.3
Tun_01_FBL_IN_2	Bool	%Q3.4
Tun_01_FBL_IN_3	Bool	%Q3.5
Tun_01_FBL_IN_4	Bool	%Q3.6
Tun_01_H_Avaria_Agrupada	Bool	%Q3.7
Flag_Rearme_5m	Bool	%M2.0
Flag_Rearme_1s	Bool	%M2.1

A Tabela A.2 apresenta dos endereços de entrada e saída da estação remota instalada no PST2.

Tabela A.2 – Endereços de entrada e saída da estação remota instalada no PST2

Nome	Tipo de dados	Endereço
Tun_02_S_Man_Ilum_Ref	Bool	%I14.0
Tun_02_Ilum_1_Rotunda_Ligado	Bool	%I14.1
Tun_02_Disprot_Protec_Ilum_1_Rotunda_(D1)	Bool	%I14.2

Nome	Tipo de dados	Endereço
Tun_02_Ilum_Circ_A1_Ligado	Bool	%I14.3
Tun_02_Disp_Protec_Ilum_Circ_A1_(D2)	Bool	%I14.4
Tun_02_Ilum_Circ_A2_Ligado	Bool	%I14.5
Tun_02_Disp_Protec_Ilum_Circ_A2_(D3)	Bool	%I14.6
Tun_02_Ilum_Circ_A3_Ligado	Bool	%I14.7
Tun_02_Disp_Protec_Ilum_Circ_A3_(D4)	Bool	%I15.0
Tun_02_Ilum_Circ_A4_Ligado	Bool	%I15.1
Tun_02_Disp_Protec_Ilum_Circ_A4_(D5)	Bool	%I15.2
Tun_02_Ilum_Circ_A5_Ligado	Bool	%I15.3
Tun_02_Disp_Protec_Ilum_Circ_A5_(D10)	Bool	%I15.4
Tun_02_Ventil_Sala_Quadros_Ligado	Bool	%I15.5
Tun_02_Disp_Protec_Ventil_Sala_Quadros(D6/D7)	Bool	%I15.6
Tun_02_Disp_Protec_Reserva_(D8)	Bool	%I15.7
Tun_02_Disp_Protec_Reserva_(D9)	Bool	%I16.0
Tun_02_Disp_Protec_UPS_(D11)	Bool	%I16.1
Tun_02_Disp_Protec_PST2_QE1_2_Rede_(D12)	Bool	%I16.2
Tun_02_Disp_Protec_Trafo_Isol_(D13)	Bool	%I16.3
Tun_02_Disp_Protec_Tom_Sala_Quadros_(D14)	Bool	%I16.4
Tun_02_Disp_Protec_Reserva_(D15)	Bool	%I16.5
Tun_02_Disp_Protec_Reserva_(D16)	Bool	%I16.6
Tun_02_Disp_Protec_Cmd_Ilum_(D17/D18)	Bool	%I16.7
Tun_02_Ilum_Circ_A1_Ligado_100%	Bool	%I17.0
Tun_02_Disp_Protec_Ilum_Circ_A1_100%_(D20)	Bool	%I17.1
Tun_02_Ilum_Circ_A2_Ligado_100%	Bool	%I17.2
Tun_02_Disp_Protec_Ilum_Circ_A2_100%_(D21)	Bool	%I17.3
Tun_02_Ilum_Circ_A3_Ligado_100%	Bool	%I17.4
Tun_02_Disp_Protec_Ilum_Circ_A3_100%_(D22)	Bool	%I17.5

Nome	Tipo de dados	Endereço
Tun_02_Ilum_Circ_A4_Ligado_100%	Bool	%I17.6
Tun_02_Dispc_Protec_Ilum_Circ_A4_100%_(D23)	Bool	%I17.7
Tun_02_S_Man_Vent	Bool	%I18.0
Tun_02_Dispc_Protec_Cmd_Vent_(D1_a_D4)	Bool	%I18.1
Tun_02_Vent_Auto_Ligada_Sent_BV	Bool	%I18.2
Tun_02_Vent_Auto_Ligada_Sent_SV	Bool	%I18.3
Tun_02_KSFF	Bool	%I18.4
VE_09_Ligado_BV	Bool	%I18.5
VE_09_Ligado_SV	Bool	%I18.6
VE_09_Avaria	Bool	%I18.7
VE_10_Ligado_BV	Bool	%I19.0
VE_10_Ligado_SV	Bool	%I19.1
VE_10_Avaria	Bool	%I19.2
VE_11_Ligado_BV	Bool	%I19.3
VE_11_Ligado_SV	Bool	%I19.4
VE_11_Avaria	Bool	%I19.5
VE_12_Ligado_BV	Bool	%I19.6
VE_12_Ligado_SV	Bool	%I19.7
VE_12_Avaria	Bool	%I20.0
VE_13_Ligado_BV	Bool	%I20.1
VE_13_Ligado_SV	Bool	%I20.2
VE_13_Avaria	Bool	%I20.3
VE_14_Ligado_BV	Bool	%I20.4
VE_14_Ligado_SV	Bool	%I20.5
VE_14_Avaria	Bool	%I20.6
VE_15_Ligado_BV	Bool	%I20.7
VE_15_Ligado_SV	Bool	%I21.0

Nome	Tipo de dados	Endereço
VE_15_Avaria	Bool	%I21.1
VE_16_Ligado_BV	Bool	%I21.2
VE_16_Ligado_SV	Bool	%I21.3
VE_16_Avaria	Bool	%I21.4
Tun_02_Alarme_CPI	Bool	%I21.5
Tun_02_Pré-Alarme_CPI	Bool	%I21.6
Tun_02_Pré-Alarme_Defeito_VE_09_a_VE_16	Bool	%I21.7
Tun_02_Alarme_Defeito_VE_09_a_VE_16	Bool	%I22.0
Tun_02_S_Man_Ilum_Central	Bool	%I22.1
Tun_02_Ilum_Circ_A6_Ligado	Bool	%I22.2
Tun_02_Disprottec_Ilum_Circ_A6_(D1)	Bool	%I22.3
Tun_02_Disprottec_PST2_QE1_2_1_(D2)	Bool	%I22.4
Tun_02_Disprottec_Bastidor_Circ_1_(D3)	Bool	%I22.5
Tun_02_Disprottec_Reserva_(D4)	Bool	%I22.6
Tun_02_Disprottec_LUM_02_(D5)	Bool	%I22.7
Tun_02_Disprottec_SOS_10_(D6)	Bool	%I23.0
Tun_02_Disprottec_SOS_06_a_SOS_09_(D7)	Bool	%I23.1
Tun_02_Disprottec_Semaforo_(D11)	Bool	%I23.2
Tun_02_Disprottec_Cmd_Ilum_(D12/D13)	Bool	%I23.3
Tun_02_Disprottec_Desc_Sobreten_OK	Bool	%I23.4
Tun_02_Semaforo_Manual_VM/_AM	Bool	%I23.5
Tun_02_Semaforo_VM_Ligado	Bool	%I23.6
Tun_02_Semaforo_AM_Ligado	Bool	%I23.7
Tun_02_Semaforo_VD_Ligado	Bool	%I24.0
Tun_02_S_Reset	Bool	%I24.1
Tun_02_CO_02_Validacao	Bool	%I24.2
Tun_02_VIS_02_Validacao	Bool	%I24.3

Nome	Tipo de dados	Endereço
Tun_02_Reserva	Bool	%I24.4
Tun_02_UPS_Bateria_Fraca	Bool	%I24.5
Tun_02_UPS_Falha_400Vac	Bool	%I24.6
Tun_02_UPS_Desligada	Bool	%I24.7
Tun_02_LUM_02_Nivel_1	Bool	%I25.0
Tun_02_LUM_02_Nivel_2	Bool	%I25.1
Tun_02_LUM_02_Nivel_3	Bool	%I25.2
Tun_02_LUM_02_Nivel_4	Bool	%I25.3
Tun_02_Reserva_I25_4	Bool	%I25.4
Tun_02_Reserva_I25_5	Bool	%I25.5
Tun_02_Reserva_I25_6	Bool	%I25.6
Tun_02_Reserva_I25_7	Bool	%I25.7
Tun_02_OPA_02_CO	Int	%IW264
Tun_02_OPA_02_VIS	Int	%IW266
Tun_02_LUM_02	Int	%IW268
Tun_02_Reserva_IW270	Int	%IW270
Tun_02_Ligar_Ilum_1_Rotunda	Bool	%Q4.0
Tun_02_Ligar_Ilum_Circ_A1	Bool	%Q4.1
Tun_02_Ligar_Ilum_Circ_A2	Bool	%Q4.2
Tun_02_Ligar_Ilum_Circ_A3	Bool	%Q4.3
Tun_02_Ligar_Ilum_Circ_A4	Bool	%Q4.4
Tun_02_Ligar_Ilum_Circ_A5	Bool	%Q4.5
Tun_02_Ligar_Ilum_Circ_100%_A1	Bool	%Q4.6
Tun_02_Ligar_Ilum_Circ_100%_A2	Bool	%Q4.7
Tun_02_Ligar_Ilum_Circ_100%_A3	Bool	%Q5.0
Tun_02_Ligar_Ilum_Circ_100%_A4	Bool	%Q5.1
Tun_02_Ligar_VE_09	Bool	%Q5.2

Nome	Tipo de dados	Endereço
Tun_02_Ligar_VE_10	Bool	%Q5.3
Tun_02_Ligar_VE_11	Bool	%Q5.4
Tun_02_Ligar_VE_12	Bool	%Q5.5
Tun_02_Ligar_VE_13	Bool	%Q5.6
Tun_02_Ligar_VE_14	Bool	%Q5.7
Tun_02_Ligar_VE_15	Bool	%Q6.0
Tun_02_Ligar_VE_16	Bool	%Q6.1
Tun_02_Ligar_Sent_BV	Bool	%Q6.2
Tun_02_Ligar_Sent_SV	Bool	%Q6.3
Tun_02_H_Vent_Auto	Bool	%Q6.4
Tun_02_Ligar_Ilum_Circ_A6	Bool	%Q6.5
Tun_02_Ligar_Semaforo_VM	Bool	%Q6.6
Tun_02_Ligar_Semaforo_AM	Bool	%Q6.7
Tun_02_Ligar_Semaforo_VD	Bool	%Q7.0
Tun_02_H_Avaria_Agrupada	Bool	%Q7.1
Tun_02_Reserva_Q7_2	Bool	%Q7.2
Tun_02_Reserva_Q7_3	Bool	%Q7.3
Tun_02_Reserva_Q7_4	Bool	%Q7.4
Tun_02_Reserva_Q7_5	Bool	%Q7.5
Tun_02_Reserva_Q7_6	Bool	%Q7.6
Tun_02_Reserva_Q7_7	Bool	%Q7.7

A Tabela A.3 apresenta dos endereços de entrada e saída da estação remota instalada na galeria.

Tabela A.3 – Endereços de entrada e saída da estação remota instalada na galeria.

Nome	Tipo de dados	Endereço
Gal_01_Disps_Protec_Ilum_Sinalizacao_(D1)	Bool	%I26.0
Gal_01_Disps_Protec_D_M_(D2)	Bool	%I26.1
Gal_01_Disps_Protec_PST1_QE1_2_2_1_(D3)	Bool	%I26.2

Nome	Tipo de dados	Endereço
Gal_01_Disp_Protec_Cmd_Ilum_(D5/D6)	Bool	%I26.3
Gal_01_Disp_Protec_Desc_Sobreten_OK	Bool	%I26.4
Gal_01_D_M	Bool	%I26.5
Gal_01_S_Reset	Bool	%I26.6
Gal_01_ANE_01_Sentido	Bool	%I26.7
Gal_01_ANE_01_Avaria/Calibracao	Bool	%I27.0
Gal_01_Circ_E3_Ligado	Bool	%I27.1
Gal_01_Disp_Protec_Circ_E3_(D8)	Bool	%I27.2
Gal_01_Disp_Protec_Cmd_Ilum_(D9)	Bool	%I27.3
Gal_01_S_Man_Ilum	Bool	%I27.4
Gal_01_Reserva_I27_5	Bool	%I27.5
Gal_01_Reserva_I27_6	Bool	%I27.6
Gal_01_Reserva_I27_7	Bool	%I27.7
Gal_01_ANE_01	Int	%IW272
Gal_01_Reserva_IW274	Int	%IW274
Gal_01_Reserva_IW276	Int	%IW276
Gal_01_Reserva_IW278	Int	%IW278
Gal_01_Ligar_Ilum_Circ_3	Bool	%Q8.0
Gal_01_H_Avaria_Agrupada	Bool	%Q8.1
Gal_01_Reserva_Q8_2	Bool	%Q8.2
Gal_01_Reserva_Q8_3	Bool	%Q8.3
Gal_01_Reserva_Q8_4	Bool	%Q8.4
Gal_01_Reserva_Q8_5	Bool	%Q8.5
Gal_01_Reserva_Q8_6	Bool	%Q8.6
Gal_01_Reserva_Q8_7	Bool	%Q8.7

Anexo B – Retenção de alarmes

A Tabela B.1 mostra a DB “retenção de alarmes” com as variáveis usadas para guardar a informação sobre alarmes.

Tabela B.1 – Variáveis responsáveis por guardar os alarmes, DB “Alarmes”.

Nome	Tipo de dados	Estado inicial	Descrição
Tun_01_Disp_Protec_Ilum_1_Rotunda_(D1)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do circuito de iluminação da rotunda junto ao PST1
Tun_01_Disp_Protec_Ilum_Circ_A1_(D2)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do circuito de iluminação A1 a 50% junto ao PST1
Tun_01_Disp_Protec_Ilum_Circ_A2_(D3)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do circuito de iluminação A2 a 50% junto ao PST1
Tun_01_Disp_Protec_Ilum_Circ_A3_(D4)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do circuito de iluminação A3 a 50% junto ao PST1
Tun_01_Disp_Protec_Ilum_Circ_A4_(D5)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do circuito de iluminação A4 a 50% junto ao PST1
Tun_01_Disp_Protec_Ilum_Circ_A5_(D10)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do circuito de iluminação A5 junto ao PST1
Tun_01_Disp_Protec_Ventil_Sala_Quadros(D6/D7)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção da ventilação dos quadros no PST1
Tun_01_Disp_Protec_Reserva_(D8)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção de reserva
Tun_01_Disp_Protec_Reserva_(D9)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção de reserva
Tun_01_Disp_Protec_UPS_(D11)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do UPS
Tun_01_Disp_Protec_PST1_QE1_2_Rede_(D12)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do QE no PST1

Nome	Tipo de dados	Estado inicial	Descrição
Tun_01_Disp_Protec_Trafo_Isol_(D13)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do transformador de isolamento no PST1
Tun_01_Disp_Protec_Tom_Sala_Quadros_(D14)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção das tomadas no PST1
Tun_01_Disp_Protec_Reserva_(D15)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção de reserva
Tun_01_Disp_Protec_Reserva_(D16)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção de reserva
Tun_01_Disp_Protec_Cmd_Ilum_(D17/D18)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção dos circuitos de iluminação
Tun_01_Disp_Protec_Ilum_Circ_A1_100%_(D20)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do circuito de iluminação A1 a 100% junto ao PST1
Tun_01_Disp_Protec_Ilum_Circ_A2_100%_(D21)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do circuito de iluminação A2 a 100% junto ao PST1
Tun_01_Disp_Protec_Ilum_Circ_A3_100%_(D22)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do circuito de iluminação A3 a 100% junto ao PST1
Tun_01_Disp_Protec_Ilum_Circ_A4_100%_(D23)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do circuito de iluminação A4 a 100% junto ao PST1
Tun_01_Disp_Protec_Cmd_Vent_(D1_a_D4)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção para comando da ventilação no PST1
VE_01_Avaria_R	Bool	false	Alarme de Avaria indicada pelo arrancador suave do ventilador 1.1
VE_02_Avaria_R	Bool	false	Alarme de Avaria indicada pelo arrancador suave do ventilador 1.2

Nome	Tipo de dados	Estado inicial	Descrição
VE_03_Avaria_R	Bool	false	Alarme de Avaria indicada pelo arrancador suave do ventilador 1.3
VE_04_Avaria_R	Bool	false	Alarme de Avaria indicada pelo arrancador suave do ventilador 1.4
VE_05_Avaria_R	Bool	false	Alarme de Avaria indicada pelo arrancador suave do ventilador 1.5
VE_06_Avaria_R	Bool	false	Alarme de Avaria indicada pelo arrancador suave do ventilador 1.6
VE_07_Avaria_R	Bool	false	Alarme de Avaria indicada pelo arrancador suave do ventilador 1.7
VE_08_Avaria_R	Bool	false	Alarme de Avaria indicada pelo arrancador suave do ventilador 1.8
Tun_01_Disj_Protec_Ilum_2_Rotunda_(D2)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do circuito de iluminação da rotunda
Tun_01_Reserva_DB22DBX36	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção de reserva
Tun_01_Reserva_DB22DBX37	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção de reserva
Tun_01_Reserva_DB22DBX40	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção de reserva
Tun_01_Alarme_CPI_R	Bool	false	Alarme de isolamento indicando pelo CPI
Tun_01_Pré-Alarme_CPI_R	Bool	false	Pré-alarme de isolamento indicando pelo CPI
Tun_01_Pré-Alarme_Defeito_VE_01_a_VE_08_R	Bool	false	Pré-alarme de isolamento num dos 8

Nome	Tipo de dados	Estado inicial	Descrição
			ventiladores alimentados pelo PST1
Tun_01_Alarme_Defeito_VE_01_a_VE_08_R	Bool	false	Alarme de isolamento num dos 8 ventiladores alimentados pelo PST1
Tun_01_KSFF_R	Bool	false	Alarme de falta de uma ou mais fases de alimentação dos circuitos de alimentação da ventilação no PST1
Tun_01_Disp_Protec_Ilum_Circ_A6_(D1)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do circuito de iluminação A6
Tun_01_Disp_Protec_Ilum_Gal_01_Circ_E1_(D2)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do circuito de iluminação E1 na galeria
Tun_01_Disp_Protec_Ilum_Gal_01_Circ_E2_(D3)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do circuito de iluminação E2 na galeria
Tun_01_Disp_Protec_PST1_QE1_2_1_(D4)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do Quadro elétrico 1.2.1 no PST1
Tun_01_Disp_Protec_Bastidor_Circ_1_(D5)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do circuito 1 do bastidor no PST1
Tun_01_Disp_Protec_Bastidor_Circ_2_(D6)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do circuito 1 do bastidor no PST1
Tun_01_Disp_Protec_Bastidor_Circ_3_(D7)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do circuito 1 do bastidor no PST1
Tun_01_Disp_Protec_LUM_01_(D8)_R	Bool	false	Alarme no disjuntor de proteção do luminômetro
Tun_01_Disp_Protec_SOS_01_(D9)_R	Bool	false	Alarme no disjuntor de proteção do posto de SOS 1
Tun_01_Disp_Protec_SOS_02_a_SOS_05_(D10)_R	Bool	false	Alarme no disjuntor de proteção dos postos de SOS 2 até 5

Nome	Tipo de dados	Estado inicial	Descrição
Tun_01_Disp_Protec_PST1_QE1_2_2_(D11)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do Quadro elétrico 1.2.2 no PST1
Tun_01_Disp_Protec_D_M_(D12)_R	Bool	false	Alarme no disjuntor de proteção do detetor de movimento
Tun_01_Disp_Protec_Semaforo_(D16)_R	Bool	false	Alarme no disjuntor de proteção do Semáforo alimentado pelo PST1
Tun_01_Disp_Protec_Cmd_Ilum_Central_(D17/D18)_R	Bool	false	Alarme no disjuntor de proteção do circuito central A5
Tun_01_Disp_Protec_Desc_Sobreten._R	Bool	false	Alarme no disjuntor de proteção de sobretensão
Tun_01_Reserva_DB22DBX67	Bool	false	Alarme no disjuntor de proteção de reserva
Tun_01_VIS_01_Validacao	Bool	false	Alarme no sensor de visibilidade, junto ao PST1
Tun_01_CO_01_Validacao	Bool	false	Alarme no sensor de CO, junto ao PST1
Tun_01_UPS_Bateria_Fraca_R	Bool	false	Alarme de bateria fraca no UPS
Tun_01_UPS_Falha_400Vac_R	Bool	false	Alarme de falha de alimentação do UPS
Tun_01_UPS_Desligada_R	Bool	false	Alarme do UPS desligado
Tun_01_Cmd_Vent_Manual	Bool	false	Alarme, ventilação em modo manual no PST1
Tun_01_Cmd_Ilum_Ref_Manual	Bool	false	Alarme, iluminação em modo manual no PST1
Tun_01_Cmd_Semaforo_Manual	Bool	false	Alarme, semáforo em modo manual no PST1
Tun_01_Reserva_DB22DBX76	Bool	false	Alarme no disjuntor de proteção de reserva
Tun_01_Reserva_DB22DBX77	Bool	false	Alarme no disjuntor de proteção de reserva

Nome	Tipo de dados	Estado inicial	Descrição
Tun_01_Vigil_Op_Ilum_1_Rotunda_R	Bool	false	Alarme de vigilância de operação do circuito de iluminação da rotunda do PST1
Tun_01_Vigil_Op_Ilum_2_Rotunda_R	Bool	false	Alarme de vigilância de operação do circuito de iluminação da rotunda do PST1
Tun_01_Vigil_Op_Ilum_Circ_A1_R	Bool	false	Alarme de vigilância de operação do circuito de iluminação A1 a 50%
Tun_01_Vigil_Op_Ilum_Circ_A2_R	Bool	false	Alarme de vigilância de operação do circuito de iluminação A2 a 50%
Tun_01_Vigil_Op_Ilum_Circ_A3_R	Bool	false	Alarme de vigilância de operação do circuito de iluminação A3 a 50%
Tun_01_Vigil_Op_Ilum_Circ_A4_R	Bool	false	Alarme de vigilância de operação do circuito de iluminação A4 a 50%
Tun_01_Vigil_Op_Ilum_Circ_A5_R	Bool	false	Alarme de vigilância de operação do circuito de iluminação A5
Tun_01_Vigil_Op_Ilum_Circ_100%_A1_R	Bool	false	Alarme de vigilância de operação do circuito de iluminação A1 a 100%
Tun_01_Vigil_Op_Ilum_Circ_100%_A2_R	Bool	false	Alarme de vigilância de operação do circuito de iluminação A2 a 100%
Tun_01_Vigil_Op_Ilum_Circ_100%_A3_R	Bool	false	Alarme de vigilância de operação do circuito de iluminação A3 a 100%
Tun_01_Vigil_Op_Ilum_Circ_100%_A4_R	Bool	false	Alarme de vigilância de operação do circuito de iluminação A4 a 100%
Tun_01_Vigil_Op_VE_01_R	Bool	false	Alarme de vigilância de operação dos 8 ventiladores alimentados pelo PST1
Tun_01_Vigil_Op_VE_02_R	Bool	false	
Tun_01_Vigil_Op_VE_03_R	Bool	false	
Tun_01_Vigil_Op_VE_04_R	Bool	false	

Nome	Tipo de dados	Estado inicial	Descrição
Tun_01_Vigil_Op_VE_05_R	Bool	false	
Tun_01_Vigil_Op_VE_06_R	Bool	false	
Tun_01_Vigil_Op_VE_07_R	Bool	false	
Tun_01_Vigil_Op_VE_08_R	Bool	false	
Tun_01_Vigil_Op_Sent_BV_R	Bool	false	Alarme de vigilância de operação do sentido da ventilação(Boaventura)
Tun_01_Vigil_Op_Sent_SV_R	Bool	false	Alarme de vigilância de operação do sentido da ventilação (S. Vicente)
Tun_01_Vigil_Op_Illum_Circ_A6_R	Bool	false	Alarme de vigilância de operação do circuito A6
Tun_01_Vigil_Op_Semaforo_VM_R	Bool	false	Alarme de vigilância de operação do semáforo
Tun_01_Vigil_Op_Semaforo_AM_R	Bool	false	
Tun_01_Vigil_Op_Semaforo_VD_R	Bool	false	
Tun_01_Reserva_DB22DBX142	Bool	false	Alarme de Reserva
Tun_01_Reserva_DB22DBX143	Bool	false	
Tun_01_Reserva_DB22DBX144	Bool	false	
Tun_01_Reserva_DB22DBX145	Bool	false	
Tun_01_Reserva_DB22DBX146	Bool	false	
Tun_01_Reserva_DB22DBX147	Bool	false	
Tun_01_Reserva_DB22DBX150	Bool	false	
Tun_01_Reserva_DB22DBX151	Bool	false	
Tun_01_Reserva_DB22DBX152	Bool	false	
Tun_01_Reserva_DB22DBX153	Bool	false	
Tun_01_Reserva_DB22DBX154	Bool	false	
Tun_01_Reserva_DB22DBX155	Bool	false	
Tun_01_Reserva_DB22DBX156	Bool	false	

Nome	Tipo de dados	Estado inicial	Descrição
Tun_01_Reserva_DB22DBX157	Bool	false	
Tun_02_Disp_Protec_Ilum_1_Rotunda_(D1)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do circuito de iluminação da rotunda junto ao PST2
Tun_02_Disp_Protec_Ilum_Circ_A1_(D2)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção dos circuitos de iluminação A1, A2, A3 e A4 a 50%
Tun_02_Disp_Protec_Ilum_Circ_A2_(D3)_R	Bool	false	
Tun_02_Disp_Protec_Ilum_Circ_A3_(D4)_R	Bool	false	
Tun_02_Disp_Protec_Ilum_Circ_A4_(D5)_R	Bool	false	
Tun_02_Disp_Protec_Ilum_Circ_A5_(D10)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do circuito de iluminação A5 alimentado pelo PST2
Tun_02_Disp_Protec_Ventil_Sala_Quadros(D6/D7)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção da ventilação dos quadros do PST2
Tun_02_Disp_Protec_Reserva_(D8)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção de reserva
Tun_02_Disp_Protec_Reserva_(D9)_R	Bool	false	
Tun_02_Disp_Protec_UPS_(D11)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do UPS instalado no PST2
Tun_02_Disp_Protec_PST2_QE1_2_Rede_(D12)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do quadro 1.2 no PST2
Tun_02_Disp_Protec_Trafo_Isol_(D13)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do transformador de isolamento no PST2
Tun_02_Disp_Protec_Tom_Sala_Quadros_(D14)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção das tomadas do PST2
Tun_02_Disp_Protec_Reserva_(D15)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção de reserva
Tun_02_Disp_Protec_Reserva_(D16)_R	Bool	false	
Tun_02_Disp_Protec_Cmd_Ilum_(D17/D18)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do comando de iluminação

Nome	Tipo de dados	Estado inicial	Descrição
Tun_02_Disp_Protec_Ilum_Circ_A1_100%_(D20)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção dos circuitos de iluminação A1, A2, A3 e A4 a 100%
Tun_02_Disp_Protec_Ilum_Circ_A2_100%_(D21)_R	Bool	false	
Tun_02_Disp_Protec_Ilum_Circ_A3_100%_(D22)_R	Bool	false	
Tun_02_Disp_Protec_Ilum_Circ_A4_100%_(D23)_R	Bool	false	
Tun_02_Disp_Protec_Cmd_Vent_(D1_a_D4)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção de comando dos ventiladores
VE_09_Avaria_R	Bool	false	Alarme de Avaria indicada pelo arrancador suave dos 8 ventiladores alimentados pelo PST2
VE_10_Avaria_R	Bool	false	
VE_11_Avaria_R	Bool	false	
VE_12_Avaria_R	Bool	false	
VE_13_Avaria_R	Bool	false	
VE_14_Avaria_R	Bool	false	
VE_15_Avaria_R	Bool	false	
VE_16_Avaria_R	Bool	false	
Tun_02_Alarme_CPI_R	Bool	false	Alarme de isolamento indicando pelo CPI
Tun_02_Pré-Alarme_CPI_R	Bool	false	Pré-alarme de isolamento indicando pelo CPI
Tun_02_Pré-Alarme_Defeito_VE_09_a_VE_16_R	Bool	false	Pré-alarme de isolamento num dos 8 ventiladores alimentados pelo PST1
Tun_02_Alarme_Defeito_VE_09_a_VE_16_R	Bool	false	Alarme de isolamento num dos 8 ventiladores alimentados pelo PST1
Tun_02_Disp_Protec_Ilum_Circ_A6_(D1)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do circuito de iluminação A6
Tun_02_Disp_Protec_PST2_QE1_2_1_(D2)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do Quadro elétrico 1.2.1 no PST2

Nome	Tipo de dados	Estado inicial	Descrição
Tun_02_Disip_Protec_Bastidor_Circ_1_(D3)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do bastidor
Tun_02_Disip_Protec_Reserva_(D4)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção de reserva
Tun_02_Disip_Protec_LUM_(D5)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do luminômetro
Tun_02_Disip_Protec_SOS_10_(D6)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do posto SOS 10
Tun_02_Disip_Protec_SOS_06_a_SOS_09_(D7)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção dos postos SOS 6 até 9
Tun_02_Disip_Protec_Semaforo_(D11)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do semáforo
Tun_02_Disip_Protec_Cmd_Ilum_Central_(D12/D13)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção da iluminação central, circuito A5
Tun_02_Disip_Protec_Desc_Sobreten._R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção de sobretensão
Tun_02_KSFF_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção de falta de alguma fase
Tun_02_VIS_02_Validacao	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção de validação do sensor de visibilidade
Tun_02_CO_02_Validacao	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção de validação do sensor de CO
Tun_02_UPS_Bateria_Fraca_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção de bateria fraca do UPS no PST2
Tun_02_UPS_Falha_400Vac_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção de UPS
Tun_02_UPS_Desligada_R	Bool	false	Alarme, UPS desligado
Tun_02_Cmd_Vent_Manual	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do comando de ventilação

Nome	Tipo de dados	Estado inicial	Descrição
Tun_02_Cmd_Ilum_Ref_Manual	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do comando de iluminação
Tun_02_Cmd_Semaforo_Manual	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do comando do semáforo
Tun_02_Reserva_DB22DBX226_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção de reserva
Tun_02_Reserva_DB22DBX227_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Op_Ilum_1_Rotunda_R	Bool	false	Vigilância de operação e de desoperação para os circuitos de iluminação alimentados pelo PST2
Tun_02_Vigil_Desop_Ilum_1_Rotunda_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Op_Ilum_Circ_A1_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Desop_Ilum_Circ_A1_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Op_Ilum_Circ_A2_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Desop_Ilum_Circ_A2_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Op_Ilum_Circ_A3_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Desop_Ilum_Circ_A3_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Op_Ilum_Circ_A4_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Desop_Ilum_Circ_A4_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Op_Ilum_Circ_A5_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Desop_Ilum_Circ_A5_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Op_Ilum_Circ_100%_A1_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Desop_Ilum_Circ_100%_A1_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Op_Ilum_Circ_100%_A2_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Desop_Ilum_Circ_100%_A2_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Op_Ilum_Circ_100%_A3_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Desop_Ilum_Circ_100%_A3_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Op_Ilum_Circ_100%_A4_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Desop_Ilum_Circ_100%_A4_R	Bool	false	

Nome	Tipo de dados	Estado inicial	Descrição
Tun_02_Vigil_Op_VE_09_R	Bool	false	Vigilância de operação e de desoperação para os ventiladores alimentados pelo PST2
Tun_02_Vigil_Desop_VE_09_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Op_VE_10_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Desop_VE_10_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Op_VE_11_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Desop_VE_11_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Op_VE_12_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Desop_VE_12_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Op_VE_13_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Desop_VE_13_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Op_VE_14_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Desop_VE_14_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Op_VE_15_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Desop_VE_15_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Op_VE_16_R	Bool	false	Vigilância de operação e de desoperação do sentido da ventilação
Tun_02_Vigil_Desop_VE_16_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Op_Sent_BV_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Desop_Sent_BV_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Op_Sent_SV_R	Bool	false	Vigilância de operação e de desoperação para o circuito de iluminação A6
Tun_02_Vigil_Desop_Sent_SV_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Op_Ilum_Circ_A6_R	Bool	false	Vigilância de operação e de desoperação do o semáforo
Tun_02_Vigil_Desop_Ilum_Circ_A6_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Op_Semaforo_VM_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Desop_Semaforo_VM_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Op_Semaforo_AM_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Desop_Semaforo_AM_R	Bool	false	

Nome	Tipo de dados	Estado inicial	Descrição
Tun_02_Vigil_Op_Semaforo_VD_R	Bool	false	
Tun_02_Vigil_Desop_Semaforo_VD_R	Bool	false	
Tun_02_Reserva_DB22DBX294	Bool	false	Vigilância de operação e de desoperação de reservas
Tun_02_Reserva_DB22DBX295	Bool	false	
Tun_02_Reserva_DB22DBX296	Bool	false	
Tun_02_Reserva_DB22DBX297	Bool	false	
Gal_01_Disj_Protec_Ilum_Circ_E3_(D8)_R	Bool	false	Alarme do disjunto de proteção do circuito E3 na galeria
Gal_01_Disj_Protec_Ilum_Sinalizacao_(D1)_R	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do equipamento alimentados pela a galeria
Gal_01_Disj_Protec_D.M_(D2)_R	Bool	false	
Gal_01_Disj_Protec_PST_QE1_2_2_(D3)_R	Bool	false	
Gal_01_Disj_Protec_Cmd_Ilum_(D5/D6)_R	Bool	false	
Gal_01_Disj_Protec_Desc_Sobreten._R	Bool	false	
Gal_01_ANE_01_Avaria_R	Bool	false	
Gal_01_Disj_Protec_Cmd_Ilum_(D9)_R	Bool	false	
Tun_02_Reserva_DB22DBX310	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção de reserva
Tun_02_Reserva_DB22DBX311	Bool	false	
Tun_02_Reserva_DB22DBX312	Bool	false	
Tun_02_Reserva_DB22DBX313	Bool	false	
Tun_02_Reserva_DB22DBX314	Bool	false	
Tun_02_Reserva_DB22DBX315	Bool	false	
Tun_02_Reserva_DB22DBX316	Bool	false	
Gal_01_Vigil_Op_Ilum_Circ_E1_R	Bool	false	Vigilância de operação e de desoperação dos circuitos de iluminação E1, E2 e E3
Gal_01_Vigil_Desop_Ilum_Circ_E1_R	Bool	false	
Gal_01_Vigil_Op_Ilum_Circ_E2_R	Bool	false	
Gal_01_Vigil_Desop_Ilum_Circ_E2_R	Bool	false	

Nome	Tipo de dados	Estado inicial	Descrição
Gal_01_Vigil_Op_Ilum_Circ_E3_R	Bool	false	
Gal_01_Vigil_Desop_Ilum_Circ_E3_R	Bool	false	
Gal_01_Cmd_Ilum_Manual	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção do comando de iluminação
Gal_01_Reserva_DB22DBX327	Bool	false	Alarme do disjuntor de proteção de reserva
Inc_Zona_1_R	Bool	false	Alarme!! Indicação da zona de incêndio
Inc_Zona_2_R	Bool	false	
Inc_Zona_3_R	Bool	false	
Inc_Zona_4_R	Bool	false	
Inc_Zona_5_R	Bool	false	
Inc_Zona_6_R	Bool	false	
Inc_Zona_7_R	Bool	false	
Inc_Zona_8_R	Bool	false	
Inc_Zona_9_R	Bool	false	
Inc_Zona_10_R	Bool	false	
Inc_Zona_11_R	Bool	false	
Tun_INC_R	Bool	false	Alarme!! Incêndio no túnel
Inc_Reserva_DB22DBX350	Bool	false	Alarme de reserva
Inc_Reserva_DB22DBX351	Bool	false	
Inc_Reserva_DB22DBX352	Bool	false	
Inc_Reserva_DB22DBX353	Bool	false	
Inc_Reserva_DB22DBX354	Bool	false	
Inc_Reserva_DB22DBX355	Bool	false	
Inc_Reserva_DB22DBX356	Bool	false	
Inc_Reserva_DB22DBX357	Bool	false	

Anexo C – Disponibilidade dos equipamentos

A Tabela C.1 contém as variáveis responsáveis por guardar a disponibilidade de utilização dos equipamentos.

Tabela C.1 – Variáveis responsáveis por guardar a disponibilidade dos equipamentos, DB “Disponibilidade”.

Nome	Tipo de dados	Estado inicial	Descrição
Tun_01_Dispon_Cmd_Ilum_1_Rotunda	Bool	false	Disponibilidade de comando de um circuito de iluminação da rotunda junto ao PST1
Tun_01_Dispon_Cmd_Ilum_Circ_A1	Bool	false	Disponibilidade de comando dos circuitos de iluminação A1, A2, A3 e A4 a 50%, junto ao PST1
Tun_01_Dispon_Cmd_Ilum_Circ_A2	Bool	false	
Tun_01_Dispon_Cmd_Ilum_Circ_A3	Bool	false	
Tun_01_Dispon_Cmd_Ilum_Circ_A4	Bool	false	
Tun_01_Dispon_Cmd_Ilum_Circ_A5	Bool	false	Disponibilidade de comando de um circuito de iluminação A5 junto ao PST1
Tun_01_Dispon_Cmd_Ilum_Circ_100%_A1	Bool	false	Disponibilidade de comando dos circuitos de iluminação A1, A2, A3, e A4 a 100%, junto ao PST1
Tun_01_Dispon_Cmd_Ilum_Circ_100%_A2	Bool	false	
Tun_01_Dispon_Cmd_Ilum_Circ_100%_A3	Bool	false	
Tun_01_Dispon_Cmd_Ilum_Circ_100%_A4	Bool	false	
Tun_01_Dispon_Cmd_VE_01	Bool	false	Disponibilidade de comando dos 8 ventiladores alimentados pelo PST1
Tun_01_Dispon_Cmd_VE_02	Bool	false	
Tun_01_Dispon_Cmd_VE_03	Bool	false	
Tun_01_Dispon_Cmd_VE_04	Bool	false	
Tun_01_Dispon_Cmd_VE_05	Bool	false	
Tun_01_Dispon_Cmd_VE_06	Bool	false	
Tun_01_Dispon_Cmd_VE_07	Bool	false	
Tun_01_Dispon_Cmd_VE_08	Bool	false	
Tun_01_Dispon_Cmd_Sent_BV	Bool	false	Disponibilidade de comando para ativar o

Nome	Tipo de dados	Estado inicial	Descrição
			sentido da ventilação para BV no PST1
Tun_01_Dispon_Cmd_Sent_SV	Bool	false	Disponibilidade de comando para ativar o sentido da ventilação para SV no PST1
Tun_01_Dispon_Cmd_Semaforo_VM	Bool	false	Disponibilidade de comando do semáforo no PST1
Tun_01_Dispon_Cmd_Semaforo_AM	Bool	false	
Tun_01_Dispon_Cmd_Semaforo_VD	Bool	false	
Tun_02_Dispon_Cmd_Ilum_1_Rotunda	Bool	false	Disponibilidade de comando de um circuito de iluminação da rotunda junto ao PST2
Tun_02_Dispon_Cmd_Ilum_Circ_A1	Bool	false	Disponibilidade de comando dos circuitos de iluminação A1, A2, A3 e A4 a 50%, junto ao PST2
Tun_02_Dispon_Cmd_Ilum_Circ_A2	Bool	false	
Tun_02_Dispon_Cmd_Ilum_Circ_A3	Bool	false	
Tun_02_Dispon_Cmd_Ilum_Circ_A4	Bool	false	
Tun_02_Dispon_Cmd_Ilum_Circ_A5	Bool	false	Disponibilidade de comando de um circuito de iluminação A5 junto ao PST2
Tun_02_Dispon_Cmd_Ilum_Circ_100%_A1	Bool	false	Disponibilidade de comando dos circuitos de iluminação A1, A2, A3 e A4 a 100%, junto ao PST2
Tun_02_Dispon_Cmd_Ilum_Circ_100%_A2	Bool	false	
Tun_02_Dispon_Cmd_Ilum_Circ_100%_A3	Bool	false	
Tun_02_Dispon_Cmd_Ilum_Circ_100%_A4	Bool	false	
Tun_02_Dispon_Cmd_VE_9	Bool	false	Disponibilidade de comando do ventilador 1.9 junto ao PST2
Tun_02_Dispon_Cmd_VE_10	Bool	false	Disponibilidade de comando dos 8 ventiladores alimentados pelo PST2
Tun_02_Dispon_Cmd_VE_11	Bool	false	
Tun_02_Dispon_Cmd_VE_12	Bool	false	
Tun_02_Dispon_Cmd_VE_13	Bool	false	
Tun_02_Dispon_Cmd_VE_14	Bool	false	

Nome	Tipo de dados	Estado inicial	Descrição
Tun_02_Dispon_Cmd_VE_15	Bool	false	
Tun_02_Dispon_Cmd_VE_16	Bool	false	
Tun_02_Dispon_Cmd_Sent_BV	Bool	false	Disponibilidade de comando para ativar o sentido da ventilação para BV no PST2
Tun_02_Dispon_Cmd_Sent_SV	Bool	false	Disponibilidade de comando para ativar o sentido da ventilação para SV no PST2
Tun_02_Dispon_Cmd_Semaforo_VM	Bool	false	Disponibilidade de comando do semáforo alimentado pelo PST2
Tun_02_Dispon_Cmd_Semaforo_AM	Bool	false	
Tun_02_Dispon_Cmd_Semaforo_VD	Bool	false	
Tun_01_Dispon_Semaforo	Bool	false	Disponibilidade de comandar o semáforo no PST2
Tun_02_Dispon_Semaforo	Bool	false	Disponibilidade de comandar o semáforo no PST2
Gal_01_Dispon_Cmd_Ilum_Circ_E1	Bool	false	Disponibilidade de comando dos circuitos E1, E2 e E3
Gal_01_Dispon_Cmd_Ilum_Circ_E2	Bool	false	
Gal_01_Dispon_Cmd_Ilum_Circ_E3	Bool	false	

Anexo D – DB “Param_illum_sensors”

A Tabela D.1 contém as variáveis criadas para utilização nas funções de iluminação nas transições do túnel. Parâmetros que definem os níveis de *setpoint* e indicações que tronam uma utilização equilibrada dos circuitos de iluminação.

Tabela D.1 – Variáveis utilizadas na função “iluminação_roda”, DB “Param_illum_sensors”.

Nome	Tipo de dados	Estado inicial	Descrição
Analogico_max	Int	27648	Valor máximo das portas analógicas do PLC
Analogico_min	Int	0	Valor mínimo das portas analógicas do PLC
Escala_max	Real	10000.0	Valor máximo lido pelo luminâncímetro
nivel1_T1.1	Real	40.0	Valor que define o intervalo para o <i>setpoint</i> = 1, lado BV
nivel2_T1.1	Real	750.0	Valor que define o intervalo para o <i>setpoint</i> = 2, lado BV
nivel3_T1.1	Real	1500.0	Valor que define o intervalo para o <i>setpoint</i> = 3, lado BV
nivel4_T1.1	Real	3000.0	Valor que define o intervalo para o <i>setpoint</i> = 4, lado BV
nivel1_T1.2	Real	40.0	Valor que define o intervalo para o <i>setpoint</i> = 1, lado SV
nivel2_T1.2	Real	750.0	Valor que define o intervalo para o <i>setpoint</i> = 2, lado SV
nivel3_T1.2	Real	1500.0	Valor que define o intervalo para o <i>setpoint</i> = 3, lado SV
nivel4_T1.2	Real	3000.0	Valor que define o intervalo para o <i>setpoint</i> = 4, lado SV
Escala_min	Real	0.0	Valor que define o intervalo para o <i>setpoint</i> = 0

Nome	Tipo de dados	Estado inicial	Descrição
Quais_ligam	Array[1..8] of Int		Indicação dos circuitos que são ativos
Quais_ligam[1]	Int	0	Indicação dos circuitos que são ativos
Quais_ligam[2]	Int	0	Indicação dos circuitos que são ativos
Quais_ligam[3]	Int	0	Indicação dos circuitos que são ativos
Quais_ligam[4]	Int	0	Indicação dos circuitos que são ativos
Quais_ligam[5]	Int	0	Indicação dos circuitos que são ativos
Quais_ligam[6]	Int	0	Indicação dos circuitos que são ativos
Quais_ligam[7]	Int	0	Indicação dos circuitos que são ativos
Quais_ligam[8]	Int	0	Indicação dos circuitos que são ativos
Ilmu_BV	"ilum"		Variáveis usada para a função roda iluminação do lado de BV
roda_ilum	Struct		
Estado_Ilum50	Array[1..4] of Int		<i>Array</i> usado para indicar o estado de cada circuito de iluminação a 50%
Estado_Ilum50[1]	Int	0	
Estado_Ilum50[2]	Int	0	
Estado_Ilum50[3]	Int	0	
Estado_Ilum50[4]	Int	0	
Estado_Ilum100	Array[1..4] of Int		<i>Array</i> usado para indicar o estado de cada circuito de iluminação a 100%
Estado_Ilum100[1]	Int	0	
Estado_Ilum100[2]	Int	0	
Estado_Ilum100[3]	Int	0	
Estado_Ilum100[4]	Int	0	
Index_Estado_Ilum50	Array[1..4] of Int		

Nome	Tipo de dados	Estado inicial	Descrição
Index_Estado_Ilum50[1]	Int	1	<i>Array</i> usado para indicar o <i>index</i> de cada circuito de iluminação a 50%
Index_Estado_Ilum50[2]	Int	2	
Index_Estado_Ilum50[3]	Int	3	
Index_Estado_Ilum50[4]	Int	4	
Index_Estado_Ilum100	Array[1..4] of Int		<i>Array</i> usado para indicar o <i>index</i> de cada circuito de iluminação a 100%
Index_Estado_Ilum100[1]	Int	1	
Index_Estado_Ilum100[2]	Int	2	
Index_Estado_Ilum100[3]	Int	3	
Index_Estado_Ilum100[4]	Int	4	
Conf_all_off	Int	0	Confirmação de que todos os circuitos de iluminação estão desligados
Contador_Ilum50	Array[1..4] of Int		Contador dos circuitos de iluminação a 50%
Contador_Ilum50[1]	Int	0	
Contador_Ilum50[2]	Int	0	
Contador_Ilum50[3]	Int	0	
Contador_Ilum50[4]	Int	0	
contador_Ilum100	Array[1..4] of Int		Contador dos circuitos de iluminação a 100%
contador_Ilum100[1]	Int	0	
contador_Ilum100[2]	Int	0	
contador_Ilum100[3]	Int	0	
contador_Ilum100[4]	Int	0	
<i>Setpoint</i>	Int	0	<i>Setpoint</i> indicado pelo luminômetro
Dispon_Ilum50_ordenada	Array[1..4] of Int		Disponibilidade dos circuitos de iluminação a 50% ordenada
Dispon_Ilum50_ordenada[1]	Int	0	
Dispon_Ilum50_ordenada[2]	Int	0	

Nome	Tipo de dados	Estado inicial	Descrição
Dispon_Ilum50_ordenada[3]	Int	0	
Dispon_Ilum50_ordenada[4]	Int	0	
Dispon_Ilum100_ordenada	Array[1..4] of Int		Disponibilidade dos circuitos de iluminação a 100% ordenada
Dispon_Ilum100_ordenada[1]	Int	0	
Dispon_Ilum100_ordenada[2]	Int	0	
Dispon_Ilum100_ordenada[3]	Int	0	
Dispon_Ilum100_ordenada[4]	Int	0	
Ordena_1 vez	Int	0	
Dispon_Ilum50	Array[1..4] of Int		Disponibilidade dos circuitos de iluminação a 50%
Dispon_Ilum50[1]	Int	0	
Dispon_Ilum50[2]	Int	0	
Dispon_Ilum50[3]	Int	0	
Dispon_Ilum50[4]	Int	0	
Dispon_Ilum100	Array[1..4] of Int		Disponibilidade dos circuitos de iluminação a 100%
Dispon_Ilum100[1]	Int	0	
Dispon_Ilum100[2]	Int	0	
Dispon_Ilum100[3]	Int	0	
Dispon_Ilum100[4]	Int	0	
Estado_Ilum50_final	Array[1..4] of Int		<i>Array</i> usado para indicar o estado final de cada circuito de iluminação a 50%
Estado_Ilum50_final[1]	Int	0	
Estado_Ilum50_final[2]	Int	0	
Estado_Ilum50_final[3]	Int	0	
Estado_Ilum50_final[4]	Int	0	
Estado_Ilum100_final	Array[1..4] of Int		<i>Array</i> usado para indicar o estado final de
Estado_Ilum100_final[1]	Int	0	

Nome	Tipo de dados	Estado inicial	Descrição
Estado_Ilum100_final[2]	Int	0	cada circuito de iluminação a 100%
Estado_Ilum100_final[3]	Int	0	
Estado_Ilum100_final[4]	Int	0	
Confir_incremento_50	Array[1..4] of Int		Confirmação de quando deverá efetuar o incremento no contador dos circuitos a 50%
Confir_incremento_50[1]	Int	0	
Confir_incremento_50[2]	Int	0	
Confir_incremento_50[3]	Int	0	
Confir_incremento_50[4]	Int	0	
Confir_incremento_100	Array[1..4] of Int		Confirmação de quando deverá efetuar o incremento no contador dos circuitos a 100%
Confir_incremento_100[1]	Int	0	
Confir_incremento_100[2]	Int	0	
Confir_incremento_100[3]	Int	0	
Confir_incremento_100[4]	Int	0	
Contador_ilum50_ordenado	Array[1..4] of Int		Contador dos circuitos de iluminação a 50% ordenado
Contador_ilum50_ordenado[1]	Int	0	
Contador_ilum50_ordenado[2]	Int	0	
Contador_ilum50_ordenado[3]	Int	0	
Contador_ilum50_ordenado[4]	Int	0	
Contador_ilum100_ordenado	Array[1..4] of Int		Contador dos circuitos de iluminação a 100% ordenado
Contador_ilum100_ordenado[1]	Int	0	
Contador_ilum100_ordenado[2]	Int	0	
Contador_ilum100_ordenado[3]	Int	0	
Contador_ilum100_ordenado[4]	Int	0	
Confir_cremento_ant_50	Array[1..4] of Int		Estado anterior da variável usada para confirmar novo incremento no contador
Confir_cremento_ant_50[1]	Int	0	
Confir_cremento_ant_50[2]	Int	0	

Nome	Tipo de dados	Estado inicial	Descrição
Confir_cremento_ant_50[3]	Int	0	
Confir_cremento_ant_50[4]	Int	0	
Confir_cremento_ant_100	Array[1..4] of Int		
Confir_cremento_ant_100[1]	Int	0	
Confir_cremento_ant_100[2]	Int	0	
Confir_cremento_ant_100[3]	Int	0	
Confir_cremento_ant_100[4]	Int	0	
Ilmu_SV	"ilum"		Variáveis usada para a função roda iluminação do lado de SV
roda_ilum	Struct		
Estado_Ilum50	Array[1..4] of Int		<i>Array</i> usado para indicar o estado de cada circuito de iluminação a 50%
Estado_Ilum50[1]	Int	0	
Estado_Ilum50[2]	Int	0	
Estado_Ilum50[3]	Int	0	
Estado_Ilum50[4]	Int	0	
Estado_Ilum100	Array[1..4] of Int		<i>Array</i> usado para indicar o estado de cada circuito de iluminação a 100%
Estado_Ilum100[1]	Int	0	
Estado_Ilum100[2]	Int	0	
Estado_Ilum100[3]	Int	0	
Estado_Ilum100[4]	Int	0	
Index_Estado_Ilum50	Array[1..4] of Int		<i>Array</i> usado para indicar o <i>index</i> de cada circuito de iluminação a 50%
Index_Estado_Ilum50[1]	Int	0	
Index_Estado_Ilum50[2]	Int	0	
Index_Estado_Ilum50[3]	Int	0	
Index_Estado_Ilum50[4]	Int	0	
Index_Estado_Ilum100	Array[1..4] of Int		<i>Array</i> usado para indicar o <i>index</i> de cada circuito de iluminação a 100%
Index_Estado_Ilum100[1]	Int	0	

Nome	Tipo de dados	Estado inicial	Descrição
Index_Estado_Ilum100[2]	Int	0	
Index_Estado_Ilum100[3]	Int	0	
Index_Estado_Ilum100[4]	Int	0	
Conf_all_off	Int	0	Confirmação de que todos os circuitos de iluminação estão desligados
Contador_Ilum50	Array[1..4] of Int		Contador dos circuitos de iluminação a 50%
Contador_Ilum50[1]	Int	0	
Contador_Ilum50[2]	Int	0	
Contador_Ilum50[3]	Int	0	
Contador_Ilum50[4]	Int	0	
contador_Ilum100	Array[1..4] of Int		Contador dos circuitos de iluminação a 100%
contador_Ilum100[1]	Int	0	
contador_Ilum100[2]	Int	0	
contador_Ilum100[3]	Int	0	
contador_Ilum100[4]	Int	0	
<i>Setpoint</i>	Int	0	<i>Setpoint</i> indicado pelo luminômetro
Dispon_Ilum50_ordenada	Array[1..4] of Int		Disponibilidade dos circuitos de iluminação a 50% ordenada
Dispon_Ilum50_ordenada[1]	Int	0	
Dispon_Ilum50_ordenada[2]	Int	0	
Dispon_Ilum50_ordenada[3]	Int	0	
Dispon_Ilum50_ordenada[4]	Int	0	
Dispon_Ilum100_ordenada	Array[1..4] of Int		Disponibilidade dos circuitos de iluminação a 100% ordenada
Dispon_Ilum100_ordenada[1]	Int	0	
Dispon_Ilum100_ordenada[2]	Int	0	
Dispon_Ilum100_ordenada[3]	Int	0	

Nome	Tipo de dados	Estado inicial	Descrição
Dispon_Ilum100_ordenada[4]	Int	0	
Ordena_1vez	Int	0	Variável que indica reordenação
Dispon_Ilum50	Array[1..4] of Int		Disponibilidade dos circuitos de iluminação a 50%
Dispon_Ilum50[1]	Int	0	
Dispon_Ilum50[2]	Int	0	
Dispon_Ilum50[3]	Int	0	
Dispon_Ilum50[4]	Int	0	
Dispon_Ilum100	Array[1..4] of Int		Disponibilidade dos circuitos de iluminação a 100%
Dispon_Ilum100[1]	Int	0	
Dispon_Ilum100[2]	Int	0	
Dispon_Ilum100[3]	Int	0	
Dispon_Ilum100[4]	Int	0	
Estado_Ilum50_final	Array[1..4] of Int		<i>Array</i> usado para indicar o estado final de cada circuito de iluminação a 50%
Estado_Ilum50_final[1]	Int	0	
Estado_Ilum50_final[2]	Int	0	
Estado_Ilum50_final[3]	Int	0	
Estado_Ilum50_final[4]	Int	0	
Estado_Ilum100_final	Array[1..4] of Int		<i>Array</i> usado para indicar o estado final de cada circuito de iluminação a 100%
Estado_Ilum100_final[1]	Int	0	
Estado_Ilum100_final[2]	Int	0	
Estado_Ilum100_final[3]	Int	0	
Estado_Ilum100_final[4]	Int	0	
Confir_incremento_50	Array[1..4] of Int		Confirmação de quando deverá efetuar o incremento no contador dos circuitos a 50%
Confir_incremento_50[1]	Int	0	
Confir_incremento_50[2]	Int	0	
Confir_incremento_50[3]	Int	0	

Nome	Tipo de dados	Estado inicial	Descrição
Confir_incremento_50[4]	Int	0	
Confir_incremento_100	Array[1..4] of Int		Confirmação de quando deverá efetuar o incremento no contador dos circuitos a 100%
Confir_incremento_100[1]	Int	0	
Confir_incremento_100[2]	Int	0	
Confir_incremento_100[3]	Int	0	
Confir_incremento_100[4]	Int	0	
Contador_ilum50_ordenado	Array[1..4] of Int		Contador dos circuitos de iluminação a 50% ordenado
Contador_ilum50_ordenado[1]	Int	0	
Contador_ilum50_ordenado[2]	Int	0	
Contador_ilum50_ordenado[3]	Int	0	
Contador_ilum50_ordenado[4]	Int	0	
Contador_ilum100_ordenado	Array[1..4] of Int		Contador dos circuitos de iluminação a 100% ordenado
Contador_ilum100_ordenado[1]	Int	0	
Contador_ilum100_ordenado[2]	Int	0	
Contador_ilum100_ordenado[3]	Int	0	
Contador_ilum100_ordenado[4]	Int	0	
Confir_cremento_ant_50	Array[1..4] of Int		Estado anterior da variável usada para confirmar novo incremento no contador
Confir_cremento_ant_50[1]	Int	0	
Confir_cremento_ant_50[2]	Int	0	
Confir_cremento_ant_50[3]	Int	0	
Confir_cremento_ant_50[4]	Int	0	
Confir_cremento_ant_100	Array[1..4] of Int		
Confir_cremento_ant_100[1]	Int	0	
Confir_cremento_ant_100[2]	Int	0	
Confir_cremento_ant_100[3]	Int	0	
Confir_cremento_ant_100[4]	Int	0	

Anexo E – Função “iluminacao_roda”

Diagrama geral da função “iluminacao_roda” na Figura E.1.

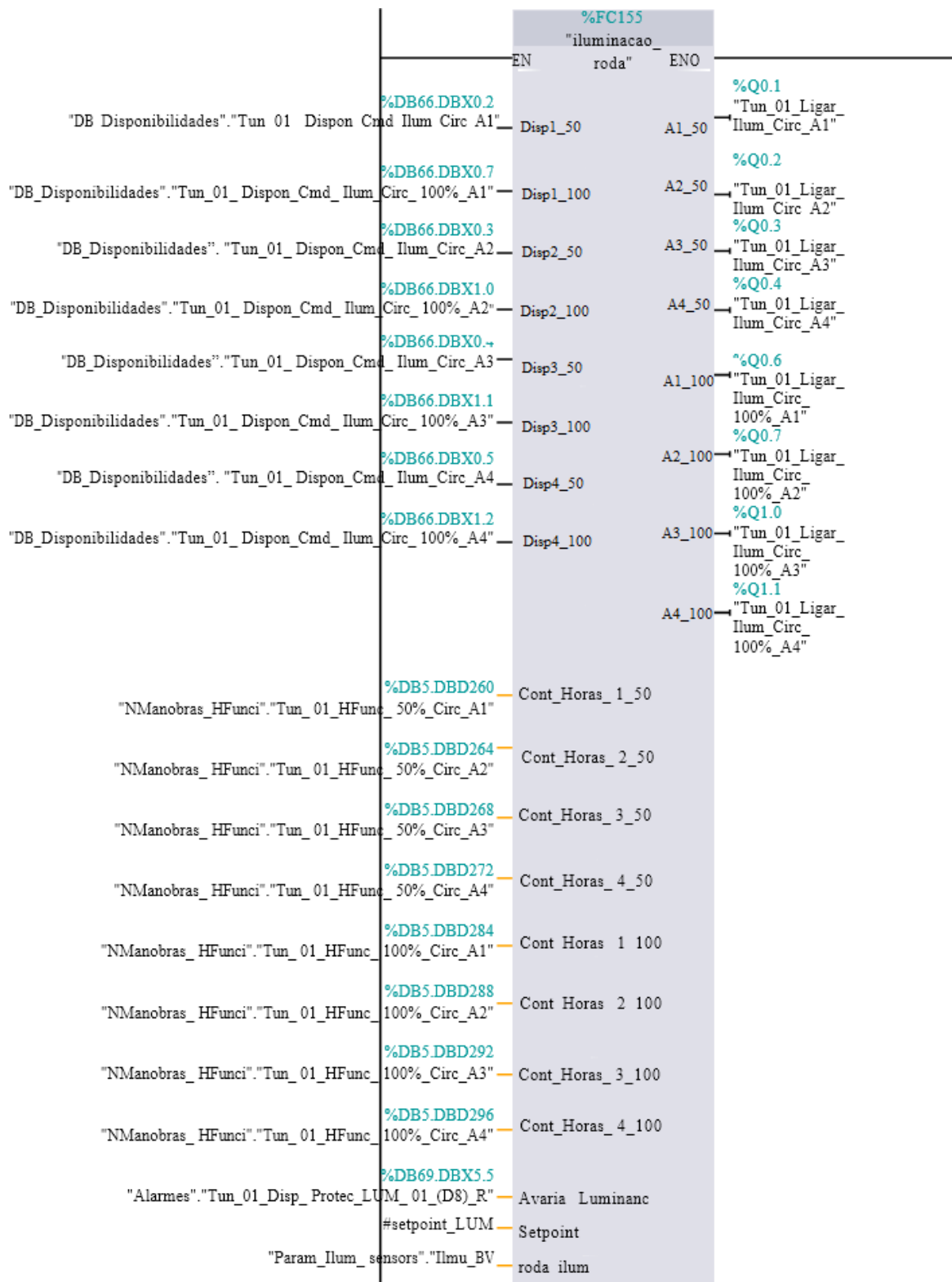


Figura E.1 – Função “iluminacao_roda”

Descrição das variáveis usadas da função “iluminacao_roda” na Tabela E.1.

Tabela E.1 – Descrição das variáveis usadas na função “iluminacao_roda”.

Nome	Tipo de dados
Input	
Dispo1_50	Bool
Dispo1_100	Bool
Dispo2_50	Bool
Dispo2_100	Bool
Dispo3_50	Bool
Dispo3_100	Bool
Dispo4_50	Bool
Dispo4_100	Bool
Cont_Horas_1_50	Real
Cont_Horas_2_50	Real
Cont_Horas_3_50	Real
Cont_Horas_4_50	Real
Cont_Horas_1_100	Real
Cont_Horas_2_100	Real
Cont_Horas_3_100	Real
Cont_Horas_4_100	Real
Avaria_Luminanc	Bool
<i>Setpoint</i>	Int
Output	
A1_50	Bool
A2_50	Bool
A3_50	Bool
A4_50	Bool
A1_100	Bool
A2_100	Bool

Nome	Tipo de dados
A3_100	Bool
A4_100	Bool
InOut	
roda_ilum	"ilum"
roda_ilum	Struct
Estado_Ilum50	Array[1..4] of Int
Estado_Ilum50[1]	Int
Estado_Ilum50[2]	Int
Estado_Ilum50[3]	Int
Estado_Ilum50[4]	Int
Estado_Ilum100	Array[1..4] of Int
Estado_Ilum100[1]	Int
Estado_Ilum100[2]	Int
Estado_Ilum100[3]	Int
Estado_Ilum100[4]	Int
Index_Estado_Ilum50	Array[1..4] of Int
Index_Estado_Ilum50[1]	Int
Index_Estado_Ilum50[2]	Int
Index_Estado_Ilum50[3]	Int
Index_Estado_Ilum50[4]	Int
Index_Estado_Ilum100	Array[1..4] of Int
Index_Estado_Ilum100[1]	Int
Index_Estado_Ilum100[2]	Int
Index_Estado_Ilum100[3]	Int
Index_Estado_Ilum100[4]	Int
Conf_all_off	Int
Contador_Ilum50	Array[1..4] of Int

Nome	Tipo de dados
Contador_Ilum50[1]	Int
Contador_Ilum50[2]	Int
Contador_Ilum50[3]	Int
Contador_Ilum50[4]	Int
contador_Ilum100	Array[1..4] of Int
contador_Ilum100[1]	Int
contador_Ilum100[2]	Int
contador_Ilum100[3]	Int
contador_Ilum100[4]	Int
<i>Setpoint</i>	Int
Dispon_Ilum50_ordenada	Array[1..4] of Int
Dispon_Ilum50_ordenada[1]	Int
Dispon_Ilum50_ordenada[2]	Int
Dispon_Ilum50_ordenada[3]	Int
Dispon_Ilum50_ordenada[4]	Int
Dispon_Ilum100_ordenada	Array[1..4] of Int
Dispon_Ilum100_ordenada[1]	Int
Dispon_Ilum100_ordenada[2]	Int
Dispon_Ilum100_ordenada[3]	Int
Dispon_Ilum100_ordenada[4]	Int
Ordena_1vez	Int
Dispon_Ilum50	Array[1..4] of Int
Dispon_Ilum50[1]	Int
Dispon_Ilum50[2]	Int
Dispon_Ilum50[3]	Int
Dispon_Ilum50[4]	Int
Dispon_Ilum100	Array[1..4] of Int

Nome	Tipo de dados
Dispon_Ilum100[1]	Int
Dispon_Ilum100[2]	Int
Dispon_Ilum100[3]	Int
Dispon_Ilum100[4]	Int
Estado_Ilum50_final	Array[1..4] of Int
Estado_Ilum50_final[1]	Int
Estado_Ilum50_final[2]	Int
Estado_Ilum50_final[3]	Int
Estado_Ilum50_final[4]	Int
Estado_Ilum100_final	Array[1..4] of Int
Estado_Ilum100_final[1]	Int
Estado_Ilum100_final[2]	Int
Estado_Ilum100_final[3]	Int
Estado_Ilum100_final[4]	Int
Confir_incremento_50	Array[1..4] of Int
Confir_incremento_50[1]	Int
Confir_incremento_50[2]	Int
Confir_incremento_50[3]	Int
Confir_incremento_50[4]	Int
Confir_incremento_100	Array[1..4] of Int
Confir_incremento_100[1]	Int
Confir_incremento_100[2]	Int
Confir_incremento_100[3]	Int
Confir_incremento_100[4]	Int
Contador_ilum50_ordenado	Array[1..4] of Int
Contador_ilum50_ordenado[1]	Int
Contador_ilum50_ordenado[2]	Int

Nome	Tipo de dados
Contador_ilum50_ordenado[3]	Int
Contador_ilum50_ordenado[4]	Int
Contador_ilum100_ordenado	Array[1..4] of Int
Contador_ilum100_ordenado[1]	Int
Contador_ilum100_ordenado[2]	Int
Contador_ilum100_ordenado[3]	Int
Contador_ilum100_ordenado[4]	Int
Confir_cremento_ant_50	Array[1..4] of Int
Confir_cremento_ant_50[1]	Int
Confir_cremento_ant_50[2]	Int
Confir_cremento_ant_50[3]	Int
Confir_cremento_ant_50[4]	Int
Confir_cremento_ant_100	Array[1..4] of Int
Confir_cremento_ant_100[1]	Int
Confir_cremento_ant_100[2]	Int
Confir_cremento_ant_100[3]	Int
Confir_cremento_ant_100[4]	Int
Temp	
y	Int
x	Int
aux	Int
aux_index	Int
index	Int
aux_estado	Int
z	Int
c	Int
set	Int

Nome	Tipo de dados
contador_temp_50	Array[1..4] of Int
contador_temp_50[1]	Int
contador_temp_50[2]	Int
contador_temp_50[3]	Int
contador_temp_50[4]	Int
contador_temp_100	Array[1..4] of Int
contador_temp_100[1]	Int
contador_temp_100[2]	Int
contador_temp_100[3]	Int
contador_temp_100[4]	Int
Constant	
Return	
iluminacao_roda	Void

Código da função “iluminacao_roda”.

Network 1: Disponibilidade dos diferentes circuitos de iluminação

```
0001 //disponibilidade =1
0002 //indisponibilidade =0
0003 IF #Dispo1_50 = TRUE THEN
0004     #roda_ilum.roda_ilum.Dispon_Ilum50[1] := 1;
0005 ELSE
0006     #roda_ilum.roda_ilum.Dispon_Ilum50[1] := 0;
0007 END_IF;
0008 IF #Dispo2_50 = TRUE THEN
0009     #roda_ilum.roda_ilum.Dispon_Ilum50[2] := 1;
0010 ELSE
0011     #roda_ilum.roda_ilum.Dispon_Ilum50[2] := 0;
0012 END_IF;
0013 IF #Dispo3_50 = TRUE THEN
0014     #roda_ilum.roda_ilum.Dispon_Ilum50[3] := 1;
0015 ELSE
0016     #roda_ilum.roda_ilum.Dispon_Ilum50[3] := 0;
0017 END_IF;
0018 IF #Dispo4_50 = TRUE THEN
0019     #roda_ilum.roda_ilum.Dispon_Ilum50[4] := 1;
0020 ELSE
0021     #roda_ilum.roda_ilum.Dispon_Ilum50[4] := 0;
0022 END_IF;
0023
0024 IF #Dispo1_100 = TRUE AND #Dispo1_50 = TRUE THEN
0025     #roda_ilum.roda_ilum.Dispon_Ilum100[1] := 1;
0026 ELSE
0027     #roda_ilum.roda_ilum.Dispon_Ilum100[1] := 0;
0028 END_IF;
0029 IF #Dispo2_100 = TRUE AND #Dispo2_50 = TRUE THEN
0030     #roda_ilum.roda_ilum.Dispon_Ilum100[2] := 1;
0031 ELSE
0032     #roda_ilum.roda_ilum.Dispon_Ilum100[2] := 0;
```

```

0033 END_IF;
0034 IF #Dispo3_100 = TRUE AND #Dispo3_50 = TRUE THEN
0035     #roda_ilum.roda_ilum.Dispon_Ilum100[3] := 1;
0036 ELSE
0037     #roda_ilum.roda_ilum.Dispon_Ilum100[3] := 0;
0038 END_IF;
0039 IF #Dispo4_100 = TRUE AND #Dispo4_50 = TRUE THEN
0040     #roda_ilum.roda_ilum.Dispon_Ilum100[4] := 1;
0041 ELSE
0042     #roda_ilum.roda_ilum.Dispon_Ilum100[4] := 0;
0043 END_IF;

```

Network 2: Organiza ordem de arranque

```

0001 IF #roda_ilum.roda_ilum.Setpoint = 0 THEN
0002     // confirmação de todos os circuitos de iluminação desligados
0003     #roda_ilum.roda_ilum.Conf_all_off := 0;
0004     FOR #y := 1 TO 4 DO
0005         IF #roda_ilum.roda_ilum.Estado_Ilum50[#y] = 0 THEN
0006             #roda_ilum.roda_ilum.Conf_all_off := #roda_ilum.roda_ilum.Conf_all_off + 1;
0007         END_IF;
0008         IF #roda_ilum.roda_ilum.Estado_Ilum100[#y] = 0 THEN
0009             #roda_ilum.roda_ilum.Conf_all_off := #roda_ilum.roda_ilum.Conf_all_off + 1;
0010         END_IF;
0011     END_FOR;
0012
0013     //organiza após confirmação de que estão todos desligados
0014     IF #roda_ilum.roda_ilum.Conf_all_off = 8 AND #roda_ilum.roda_ilum.Ordena_1vez = 1 THEN
0015         //organiza de forma crescente o arranque dos circuitos de iluminação com base nos contadores de cada circuito,
0016         //para próximo acionamento
0017         #x := 1;
0018         #index := 4;
0019         WHILE #index > 1 DO
0020             WHILE #x < 4 DO
0021                 IF #roda_ilum.roda_ilum.Contador_Ilum50[#x] > #roda_ilum.roda_ilum.Contador_Ilum50[#x + 1] THEN
0022                     //organiza o array em ordem crescente de acordo com o contador associado a cada circuito

```

```
0023      #aux := #roda_ilum.roda_ilum.Contador_Ilum50[#x];
0024      #roda_ilum.roda_ilum.Contador_Ilum50[#x] := #roda_ilum.roda_ilum.Contador_Ilum50[#x + 1];
0025      #roda_ilum.roda_ilum.Contador_Ilum50[#x + 1] := #aux;
0026      //organiza o array do index de cada circuito de acordo com array dos contadores
0027      #aux_index := #roda_ilum.roda_ilum.Index_Estado_Ilum50[#x];
0028      #roda_ilum.roda_ilum.Index_Estado_Ilum50[#x] := #roda_ilum.roda_ilum.Index_Estado_Ilum50[#x + 1];
0029      #roda_ilum.roda_ilum.Index_Estado_Ilum50[#x + 1] := #aux_index;
0030
0031      #aux_estado := #roda_ilum.roda_ilum.Estado_Ilum50[#x];
0032      #roda_ilum.roda_ilum.Estado_Ilum50[#x] := #roda_ilum.roda_ilum.Estado_Ilum50[#x + 1];
0033      #roda_ilum.roda_ilum.Estado_Ilum50[#x + 1] := #aux_estado;
0034
0035      END_IF;
0036      #x := #x + 1;
0037      END_WHILE;
0038      #x := 1;
0039      #index := #index - 1;
0040      END_WHILE;
0041      #x := 1;
0042      #index := 4;
0043      WHILE #index > 1 DO
0044          WHILE #x < 4 DO
0045              IF #roda_ilum.roda_ilum.contador_Ilum100[#x] > #roda_ilum.roda_ilum.contador_Ilum100[#x + 1] THEN
0046
0047                  #aux := #roda_ilum.roda_ilum.contador_Ilum100[#x];
0048                  #roda_ilum.roda_ilum.contador_Ilum100[#x] := #roda_ilum.roda_ilum.contador_Ilum100[#x + 1];
0049                  #roda_ilum.roda_ilum.contador_Ilum100[#x + 1] := #aux;
0050
0051                  #aux_index := #roda_ilum.roda_ilum.Index_Estado_Ilum100[#x];
0052                  #roda_ilum.roda_ilum.Index_Estado_Ilum100[#x] := #roda_ilum.roda_ilum.Index_Estado_Ilum100[#x + 1];
0053                  #roda_ilum.roda_ilum.Index_Estado_Ilum100[#x + 1] := #aux_index;
0054
0055                  #aux_index := #roda_ilum.roda_ilum.Estado_Ilum100[#x];
0056                  #roda_ilum.roda_ilum.Estado_Ilum100[#x] := #roda_ilum.roda_ilum.Estado_Ilum100[#x + 1];
0057                  #roda_ilum.roda_ilum.Estado_Ilum100[#x + 1] := #aux_index;
0058
0059      END_IF;
```

```

0060             #x := #x + 1;
0061         END_WHILE;
0062         #x := 1;
0063         #index := #index - 1;
0064     END_WHILE;
0065     #x := 1;
0066     #index := 4;
0067     #roda_ilum.roda_ilum.Ordena_1vez := 0;
0068 END_IF;
0069 ELSE
0070     #roda_ilum.roda_ilum.Ordena_1vez := 1;
0071 END_IF;

```

Network 3: Ordenar a disponibilidade

```

0001 FOR #c := 1 TO 4 DO
0002     FOR #y := 1 TO 4 DO
0003         IF #roda_ilum.roda_ilum.Index_Estado_Ilum50[#y] = #c THEN
0004             #roda_ilum.roda_ilum.Dispon_Ilum50_ordenada[#y] := #roda_ilum.roda_ilum.Dispon_Ilum50[#c];
0005         END_IF;
0006     END_FOR;
0007     FOR #y := 1 TO 4 DO
0008         IF #roda_ilum.roda_ilum.Index_Estado_Ilum100[#y] = #c THEN
0009             #roda_ilum.roda_ilum.Dispon_Ilum100_ordenada[#y] := #roda_ilum.roda_ilum.Dispon_Ilum100[#c];
0010         END_IF;
0011     END_FOR;
0012 END_FOR;

```

Network 4: Verificação do estado da automatização

Existe a possibilidade do *setpoint* ser gerado diretamente através do HMI para questões de simulação da função. Na situação de o luminâncímetro estar em avaria, o *setpoint* é definido como nível 2.

```

0001 IF "Valores_sensores_reais_e_setpoint"."Setpoint_simulacao_ilum_on_off_1.1" = TRUE THEN
0002     "Param_Ilum_sensors".Ilmu_BV.roda_ilum.Setpoint := "Valores_sensores_reais_e_setpoint"."Setpoint_simula-

```

```

        cao_illum_1.1";
0003 ELSE
0004     IF #Avaria_Luminanc = TRUE THEN
0005         "Param_Illum_sensors".Ilmu_BV.roda_illum.Setpoint := 2;
0006     ELSE
0007         "Param_Illum_sensors".Ilmu_BV.roda_illum.Setpoint := #Setpoint;
0008     END_IF;
0009 END_IF;

```

Network 5: Quantos iram ligar de acordo com o nível de *setpoint*

```

0001 #set := #roda_illum.roda_illum.Setpoint * 2;
0002 //setpoint a zero desliga todos
0003 IF #roda_illum.roda_illum.Setpoint = 0 THEN
0004     FOR #y := 1 TO 4 DO
0005         #roda_illum.roda_illum.Estado_Ilum50[#y] := 0;
0006         #roda_illum.roda_illum.Estado_Ilum100[#y] := 0;
0007     END_FOR;

0008 END_IF;
0009 //
0010 #x := 0;
0011 #z := 0;
0012 IF #roda_illum.roda_illum.Setpoint <> 0 THEN
0013     FOR #y := 1 TO 4 DO
0014         IF #roda_illum.roda_illum.Dispon_Ilum50_ordenada[#y] = 1 AND #x < #set THEN
0015             #roda_illum.roda_illum.Estado_Ilum50[#y] := 1;
0016             #x := #x + 1;
0017         ELSE
0018             #roda_illum.roda_illum.Estado_Ilum50[#y] := 0;
0019         END_IF;
0020         #z := #z + 1;
0021     END_FOR;
0022     IF #x < #set THEN
0023         FOR #y := 1 TO 4 DO

```

```

0024         IF #roda_ilum.roda_ilum.Dispon_Ilum100_ordenada[#y] = 1 AND #x < #set AND #z = 4 THEN
0025             #roda_ilum.roda_ilum.Estado_Ilum100[#y] := 1;
0026             #x := #x + 1;
0027         ELSE
0028             #roda_ilum.roda_ilum.Estado_Ilum100[#y] := 0;
0029         END_IF;
0030     END_FOR;
0031 ELSE
0032     FOR #y := 1 TO 4 DO
0033         #roda_ilum.roda_ilum.Estado_Ilum100[#y] := 0;
0034     END_FOR;
0035 END_IF;
0036 END_IF;
0037
0038

```

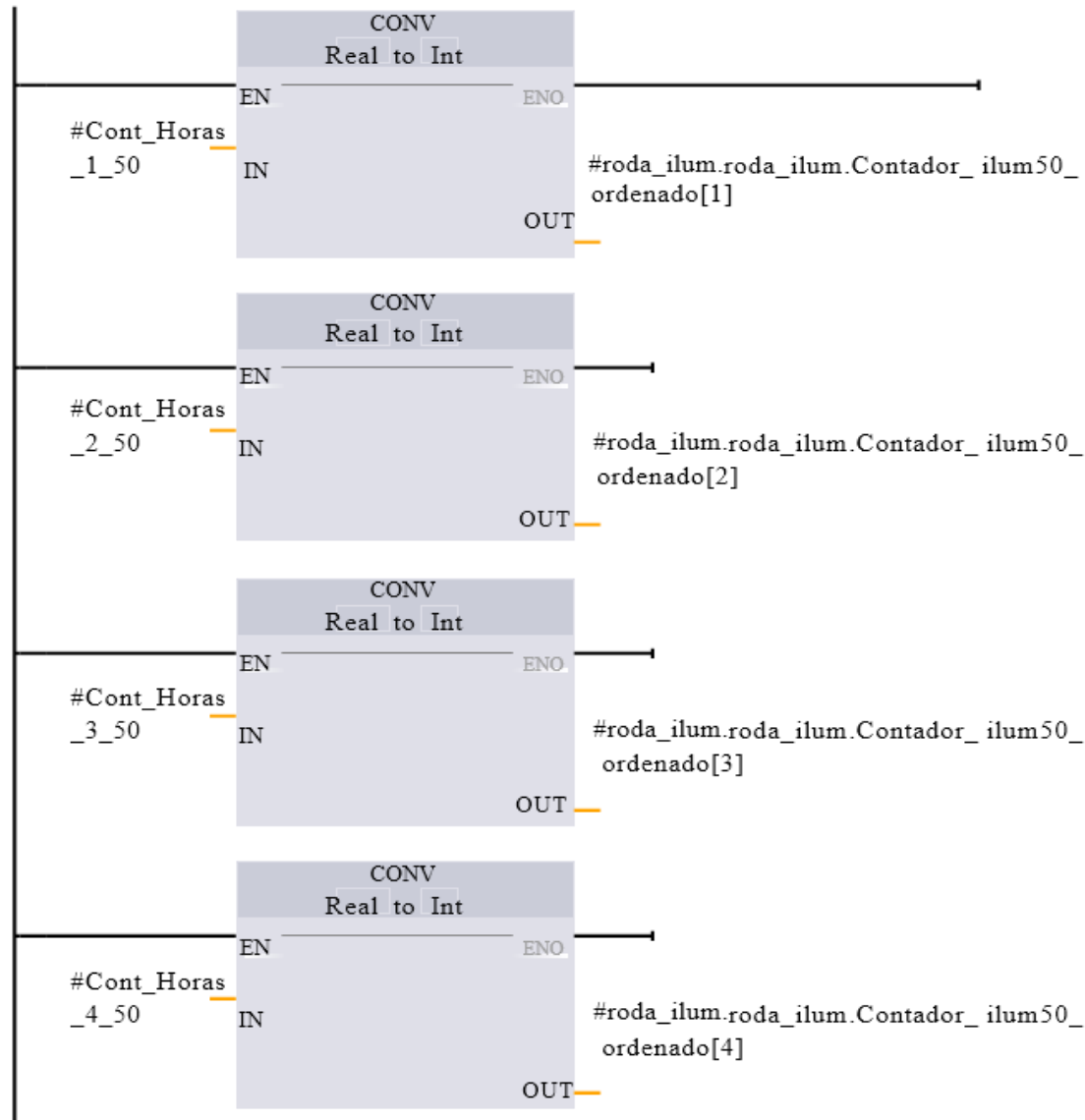
Network 6: Orgazinação do array que indica se os circuitos são activo ou não

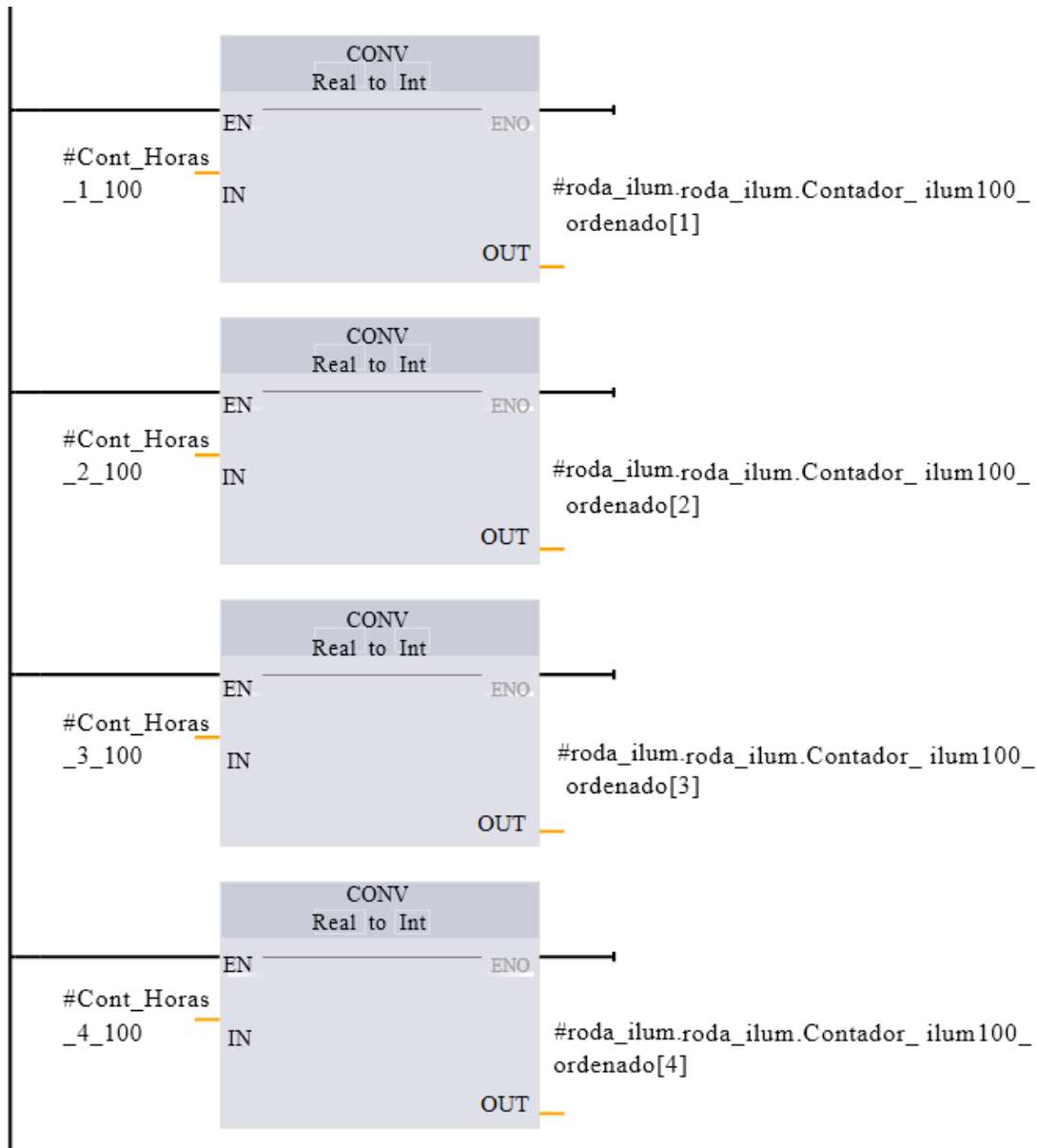
```

0001 FOR #c := 1 TO 4 DO
0002     FOR #y := 1 TO 4 DO
0003         IF #roda_ilum.roda_ilum.Index_Estado_Ilum50[#y] = #c THEN
0004             #roda_ilum.roda_ilum.Estado_Ilum50_final[#c] := #roda_ilum.roda_ilum.Estado_Ilum50[#y];
0005         END_IF;
0006     END_FOR;
0007     FOR #y := 1 TO 4 DO
0008         IF #roda_ilum.roda_ilum.Index_Estado_Ilum100[#y] = #c THEN
0009             #roda_ilum.roda_ilum.Estado_Ilum100_final[#c] := #roda_ilum.roda_ilum.Estado_Ilum100[#y];
0010         END_IF;
0011     END_FOR;
0012 END_FOR;

```

Network 7: Leitura das horas de funcionamento de cada circuito e conversão para inteiro

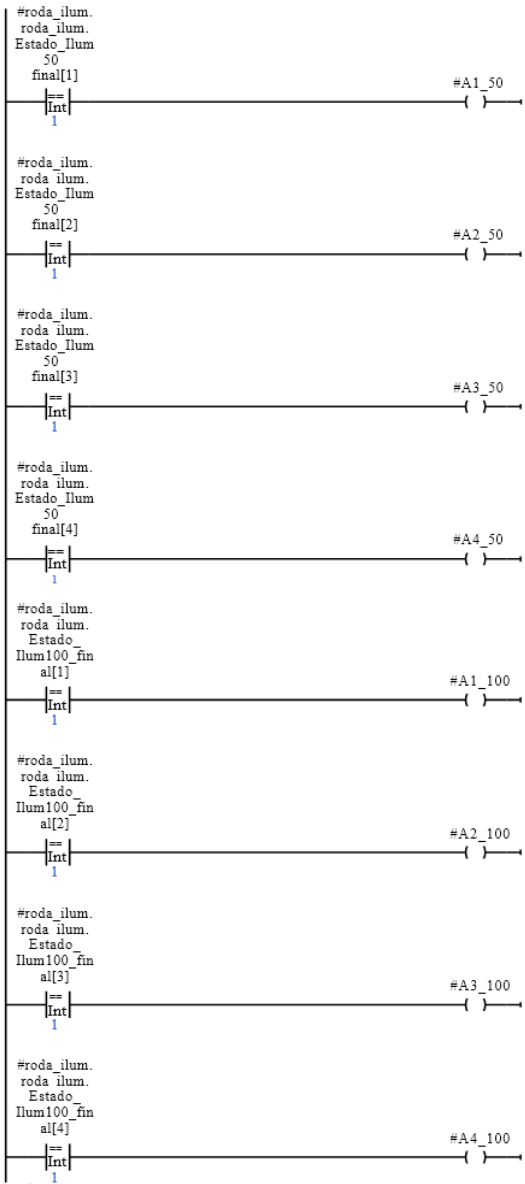




Network 8: Ordenar contadores segundo a ordem definida pelo o *index* do estado de cada circuito

```
0001
0002 FOR #c := 1 TO 4 DO
0003     FOR #y := 1 TO 4 DO
0004         IF #roda_ilum.roda_ilum.Index_Estado_Ilum50[#y] = #c THEN
0005             #roda_ilum.roda_ilum.Contador_Ilum50[#y] :=
#roda_ilum.roda_ilum.Contador_ilum50_ordenado[#c]; 0006     END_IF;
0007     END_FOR;
0008     FOR #y := 1 TO 4 DO
0009         IF #roda_ilum.roda_ilum.Index_Estado_Ilum100[#y] = #c THEN
0010             #roda_ilum.roda_ilum.contador_Ilum100[#y] :=
#roda_ilum.roda_ilum.Contador_ilum100_ordenado[#c]; 0011     END_IF;
0012     END_FOR;
0013 END_FOR;
```

160 Network 9: Ativação das saídas de acordo com o *array* que indica o estado de cada circuito



Anexo F – DB “NManobras_Hfunci”

A Tabela F.1 contém os contadores de cada equipamento para utilização em outras funções e visualização no HMI.

Tabela F.1 – DB “NManobras_Hfunci”

Nome	Tipo de dados
Tun_01_NManob_Rot	Real
Tun_01_NMa- nob_50%_Circ_A1	Real
Tun_01_NMa- nob_50%_Circ_A2	Real
Tun_01_NMa- nob_50%_Circ_A3	Real
Tun_01_NMa- nob_50%_Circ_A4	Real
Tun_01_NManob_Circ_A5	Real
Tun_01_NMa- nob_100%_Circ_A1	Real
Tun_01_NMa- nob_100%_Circ_A2	Real
Tun_01_NMa- nob_100%_Circ_A3	Real
Tun_01_NMa- nob_100%_Circ_A4	Real
Tun_01_NManob_VE_01	Real
Tun_01_NManob_VE_02	Real
Tun_01_NManob_VE_03	Real
Tun_01_NManob_VE_04	Real
Tun_01_NManob_VE_05	Real
Tun_01_NManob_VE_06	Real
Tun_01_NManob_VE_07	Real
Tun_01_NManob_VE_08	Real
Tun_01_NManob_Sent_BV	Real
Tun_01_NManob_Sent_SV	Real
Tun_01_NManob_Sema- foro_VM	Real
Tun_01_NManob_Sema- foro_AM	Real
Tun_01_NManob_Sema- foro_VD	Real

Nome	Tipo de dados
Tun_01_NManob_Reserva_1	Real
Tun_01_NManob_Reserva_2	Real
Tun_01_NManob_Reserva_3	Real
Tun_01_NManob_Reserva_4	Real
Tun_01_NManob_Reserva_5	Real
Tun_02_NManob_Rot	Real
Tun_02_NMa- nob_50%_Circ_A1	Real
Tun_02_NMa- nob_50%_Circ_A2	Real
Tun_02_NMa- nob_50%_Circ_A3	Real
Tun_02_NMa- nob_50%_Circ_A4	Real
Tun_02_NManob_Circ_A5	Real
Tun_02_NMa- nob_100%_Circ_A1	Real
Tun_02_NMa- nob_100%_Circ_A2	Real
Tun_02_NMa- nob_100%_Circ_A3	Real
Tun_02_NMa- nob_100%_Circ_A4	Real
Tun_02_NManob_VE_09	Real
Tun_02_NManob_VE_10	Real
Tun_02_NManob_VE_11	Real
Tun_02_NManob_VE_12	Real
Tun_02_NManob_VE_13	Real
Tun_02_NManob_VE_14	Real
Tun_02_NManob_VE_15	Real
Tun_02_NManob_VE_16	Real
Tun_02_NManob_Sent_BV	Real
Tun_02_NManob_Sent_SV	Real
Tun_02_NManob_Sema- foro_VM	Real
Tun_02_NManob_Sema- foro_AM	Real

Nome	Tipo de dados
Tun_02_NManob_Sema- foro_VD	Real
Tun_02_NManob_Reserva_1	Real
Tun_02_NManob_Reserva_2	Real
Tun_02_NManob_Reserva_3	Real
Tun_02_NManob_Reserva_4	Real
Tun_02_NManob_Reserva_5	Real
Gal_01_NManob_Circ_E1	Real
Gal_01_NManob_Circ_E2	Real
Gal_01_NManob_Circ_E3	Real
Gal_01_NManob_Reserva_1	Real
Gal_01_NManob_Reserva_2	Real
Gal_01_NManob_Reserva_3	Real
Tun_01_HFunc_Rot	Real
Tun_01_HFunc_50%_Circ_A 1	Real
Tun_01_HFunc_50%_Circ_A 2	Real
Tun_01_HFunc_50%_Circ_A 3	Real
Tun_01_HFunc_50%_Circ_A 4	Real
Tun_01_HFunc_Circ_A5	Real
Tun_01_HFunc_100%_Circ_A1	Real
Tun_01_HFunc_100%_Circ_A2	Real
Tun_01_HFunc_100%_Circ_A3	Real
Tun_01_HFunc_100%_Circ_A4	Real
Tun_01_HFunc_VE_01	Real
Tun_01_HFunc_VE_02	Real
Tun_01_HFunc_VE_03	Real
Tun_01_HFunc_VE_04	Real
Tun_01_HFunc_VE_05	Real

Nome	Tipo de dados
Tun_01_HFunc_VE_06	Real
Tun_01_HFunc_VE_07	Real
Tun_01_HFunc_VE_08	Real
Tun_01_HFunc_Sent_BV	Real
Tun_01_HFunc_Sent_SV	Real
Tun_01_HFunc_Sema- foro_VM	Real
Tun_01_HFunc_Sema- foro_AM	Real
Tun_01_HFunc_Sema- foro_VD	Real
Tun_01_HFunc_Reserva_1	Real
Tun_01_HFunc_Reserva_2	Real
Tun_01_HFunc_Reserva_3	Real
Tun_01_HFunc_Reserva_4	Real
Tun_01_HFunc_Reserva_5	Real
Tun_02_HFunc_Rot	Real
Tun_02_HFunc_50%_Circ_A 1	Real
Tun_02_HFunc_50%_Circ_A 2	Real
Tun_02_HFunc_50%_Circ_A 3	Real
Tun_02_HFunc_50%_Circ_A 4	Real
Tun_02_HFunc_Circ_A5	Real
Tun_02_HFunc_100%_Circ_ A1	Real
Tun_02_HFunc_100%_Circ_ A2	Real
Tun_02_HFunc_100%_Circ_ A3	Real
Tun_02_HFunc_100%_Circ_ A4	Real
Tun_02_HFunc_VE_09	Real
Tun_02_HFunc_VE_10	Real
Tun_02_HFunc_VE_11	Real
Tun_02_HFunc_VE_12	Real

Nome	Tipo de dados
Tun_02_HFunc_VE_13	Real
Tun_02_HFunc_VE_14	Real
Tun_02_HFunc_VE_15	Real
Tun_02_HFunc_VE_16	Real
Tun_02_HFunc_Sent_BV	Real
Tun_02_HFunc_Sent_SV	Real
Tun_02_HFunc_Sema- foro_VM	Real
Tun_02_HFunc_Sema- foro_AM	Real
Tun_02_HFunc_Sema- foro_VD	Real
Tun_02_HFunc_Reserva_1	Real
Tun_02_HFunc_Reserva_2	Real
Tun_02_HFunc_Reserva_3	Real
Tun_02_HFunc_Reserva_4	Real
Tun_02_HFunc_Reserva_5	Real
Gal_01_HFunc_Circ_E1	Real
Gal_01_HFunc_Circ_E2	Real
Gal_01_HFunc_Circ_E3	Real
Gal_01_HFunc_Reserva_1	Real
Gal_01_HFunc_Reserva_2	Real
Gal_01_HFunc_Reserva_3	Real

Anexo G – Sinalizações para visualização HMI

Neste anexo explica-se a implementação e funcionamento da função responsável pelas sinalizações para visualização do funcionamento dos equipamentos no HMI. A Figura G.1 apresenta “Sinalizadores_Ilum_Tipo_HMI”.

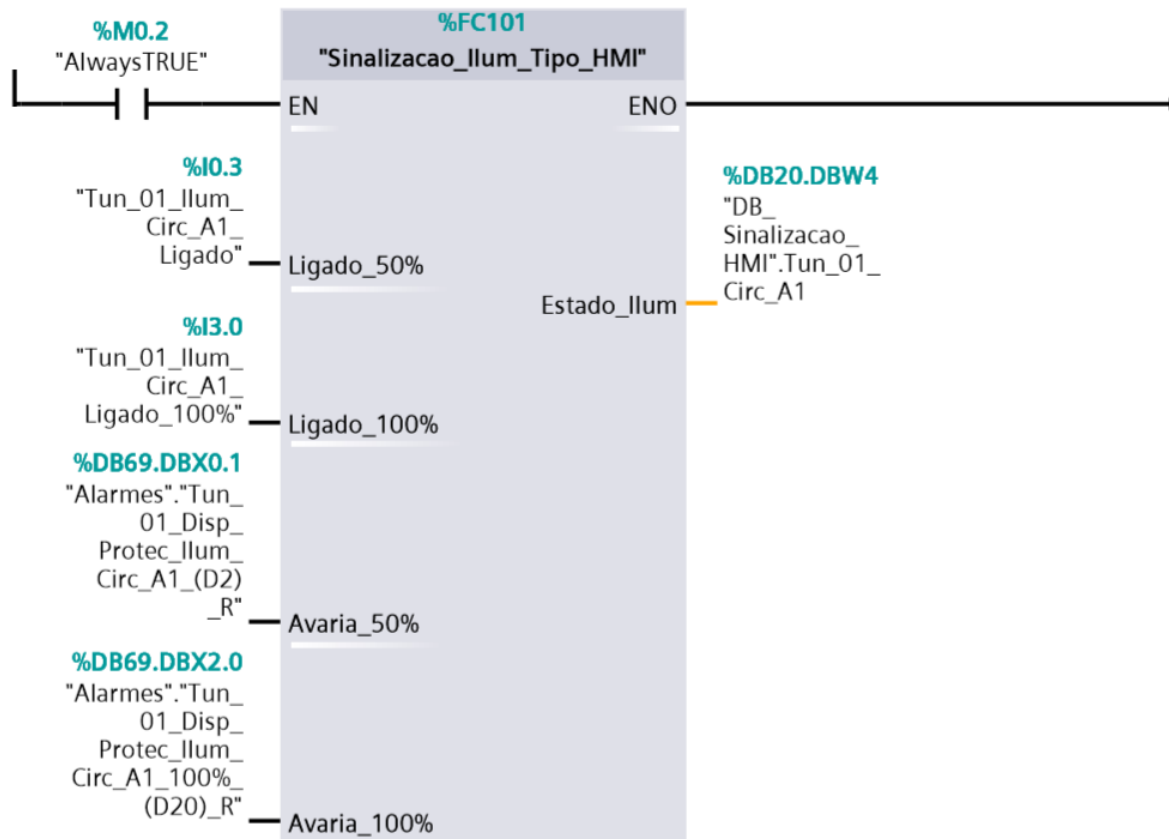


Figura G.1 – Função “Sinalizacao_Ilum_Tipo_HMI”.

Na Figura G.2, visualiza-se o interior da função “Sinalizacao_Ilum_Tipo_HMI”. A primeira *Network* tem a condição que coloca na saída o valor zero, corresponde ao estado desligado ou inativo da iluminação. A *Network 2* identifica uma avaria no circuito de iluminação, a 50% ou a 100%, sendo guardado o valor 1 na variável “Estado_Ilum”.

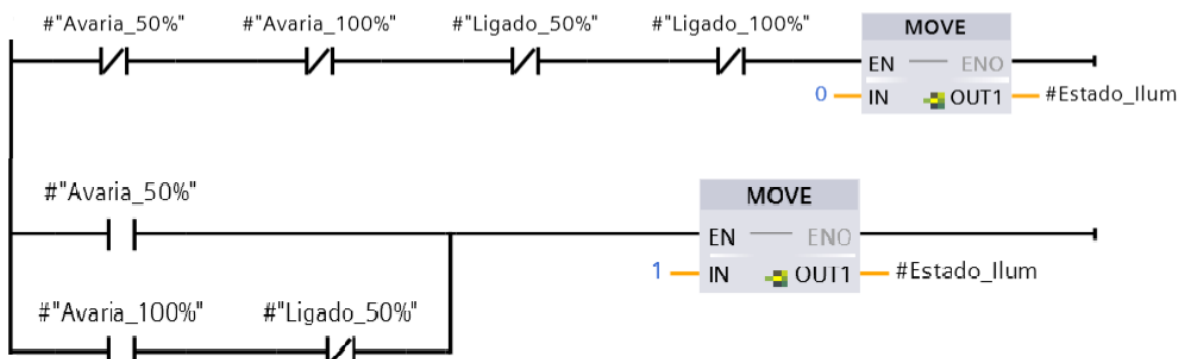


Figura G.2 – Função “Sinalizacao_Ilum_Tipo_HMI” – *Networks* 1 e 2, estado desligado e estado avaria, respetivamente.

Na Figura G.3 visualiza-se as *Networks* 3 e 4, onde a *Network* 3 identifica que circuito de iluminação a 50% está ativo, escrevendo o valor 2 na variável “Estado_Ilum”. A *Network* 4 identifica que os dois circuitos de iluminação estão ativos, estando a lâmpada ativa a 100%.

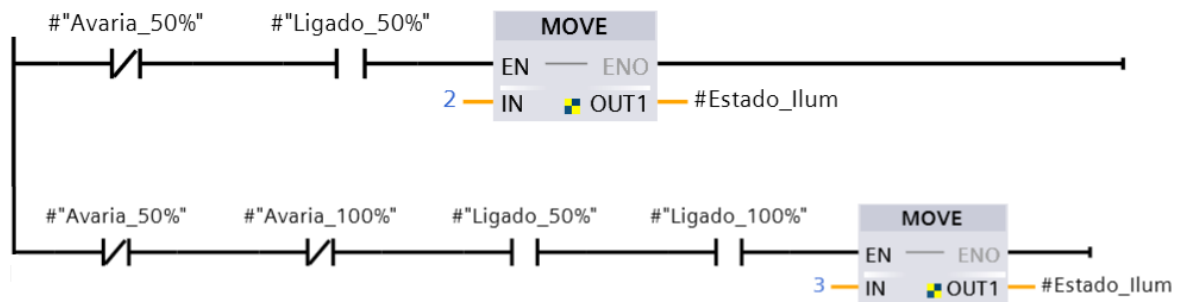


Figura G.3 – Função “Sinalizacao_Ilum_Tipo_HMI” – *Networks* 3 e 4, circuito a 50% ligado e circuito a 100% ligado, respetivamente.

A função “Sinalizacao_VE_Tipo_HMI”, Figura G.4, sinaliza os estados dos ventiladores. Esta função tem como objetivo escrever na variável de saída “Estado_VE” valores entre 0 a 3, representando assim os diferentes estados do ventilador. Esta variável de saída é guardada na memória que, por sua vez, está continuamente a ser verificada pelo programa responsável por mostrar o estado do equipamento no *display*. A entrada “Ordem_Ligar_VE” corresponde ao sinal de ativação do ventilador. As entradas “VE_Ligado_BV” e “VE_Ligado_SV” são as confirmações de ativação do ventilador e a entrada “VE_Avaria” é o sinal que indica que o ventilador está em avaria, resultante da função “Retenção de Alarmes”.

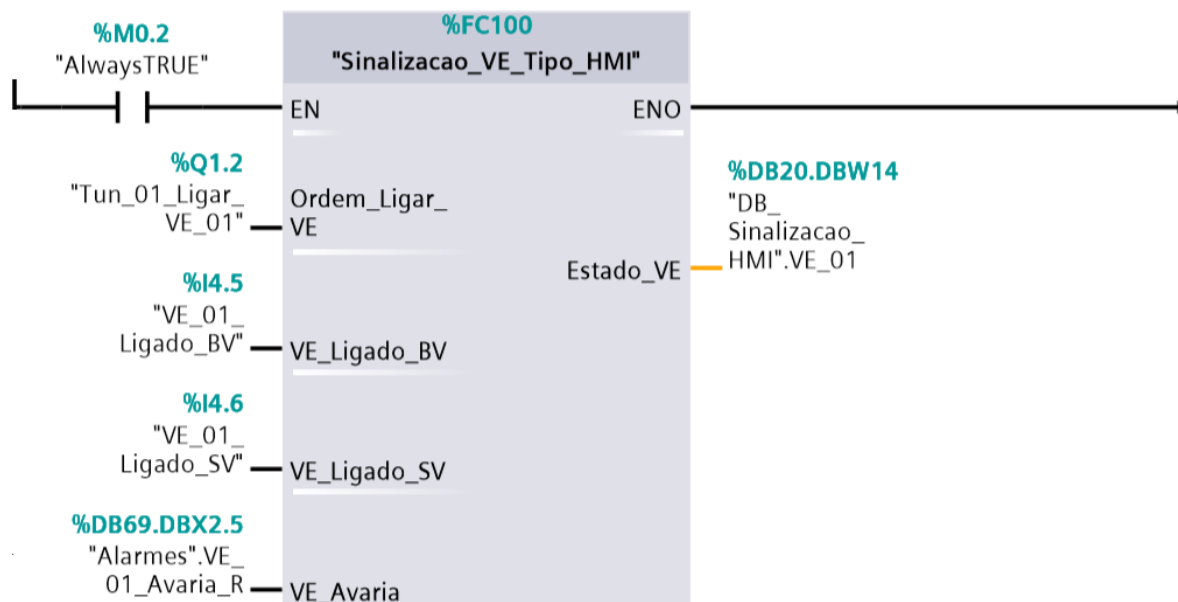


Figura G.4 – Função “Sinalizacao_VE_Tipo_HMI”.

A função “Sinalizacao_VE_Tipo_HMI” contém quatro *Networks* no seu interior, como ilustram a Figura G.5 e a Figura G.6. A primeira *Network* é responsável por identificar que o ventilador está desligado e sem avarias. A segunda *Network* identifica se há avarias no circuito

do ventilador ou no circuito de alimentação. A terceira *Network* identifica se o ventilador tem ordem de arranque, mas ainda não tem sentido definido, sendo então possível que alguém o tenha colocado em funcionamento manualmente. A última *Network* identifica o ventilador a funcionar num dos sentidos.

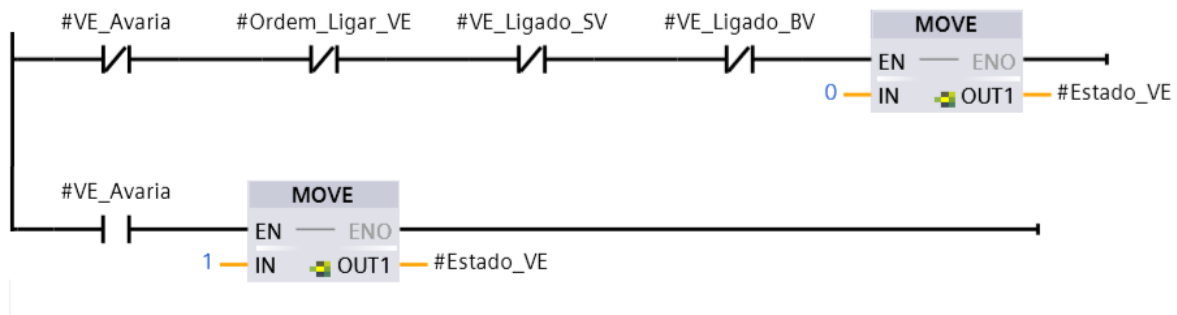


Figura G.5 – Função “Sinalizacao_VE_Tipo_HMI” - *Network* 1 e 2, estado desligado e estado avaria, respetivamente.

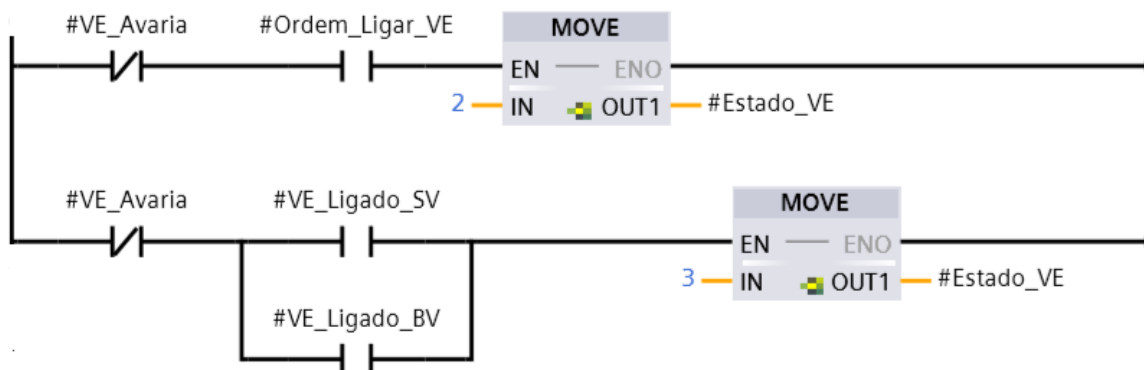


Figura G.6 – Função “Sinalizacao_VE_Tipo_HMI” – *Network* 3 e 4, ventilador em arranque e ventilador ativo, respetivamente.

Posteriormente é desenvolvida a *Network* 35, ilustrada pela Figura G.7, dentro da função “Sinalizadores_e_HMI”, tendo como objetivo de funcionamento identificar o estado da ventilação em relação aos modos automático e manual, isto é, verificar a possibilidade de colocar a ventilação em modo manual por parte do utilizador, em contexto de teste, uma vez que houve a necessidade de identificar esta situação para que fosse visualizado em tempo real no *display* do HMI.

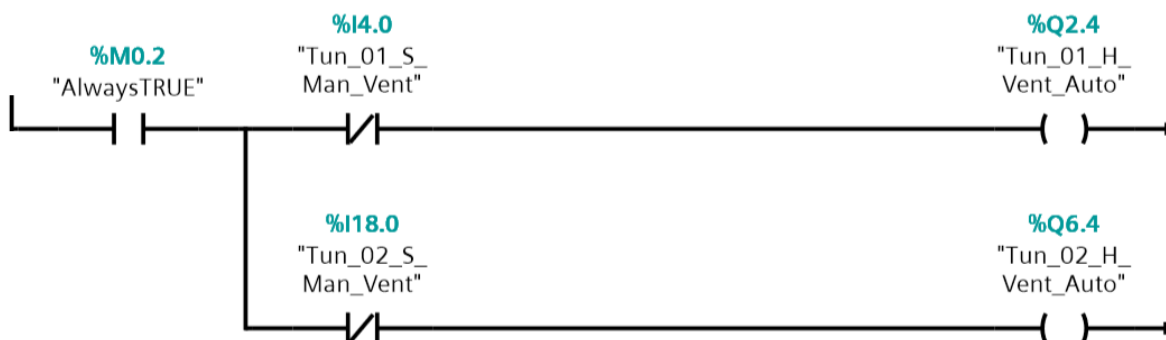


Figura G.7 – Função “Sinalizadores_e_HMI” – *Network* 35, sinalização da ventilação em automático.

A necessidade de identificar avarias agrupadas culminou no desenvolvimento de mais *Networks* dentro da função “Sinalizadores_e_HMI”, ilustrada na Figura G.8, cujo objetivo é identificar avarias num ou mais equipamentos. Existe uma luz de *led* vermelha implementado nos quadros do PLC, para identificar que algo está mal, ficando esta a piscar intermitentemente aquando de uma avaria. Após identificação de uma avaria agrupada é então possível visualizar no *display* do HMI o/os equipamento/s que incorrem em avaria, localizando o problema, o que facilita a resolução.

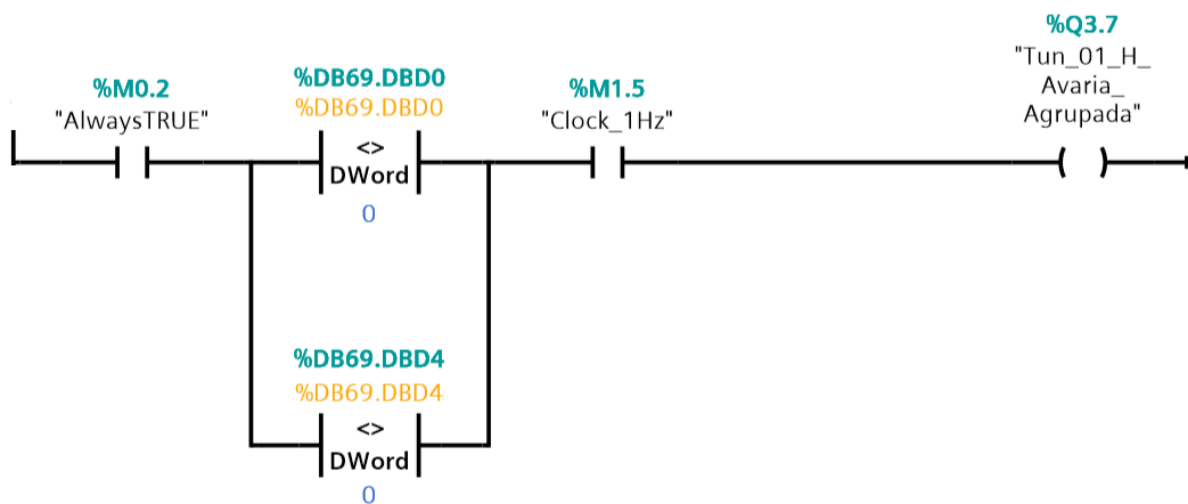


Figura G.8 – Função “Sinalizadores_e_HMI” – *Networks* 36, 37 e 38, avarias agrupadas.

Anexo H – Função “NManobras_HFunc”

A função “NManobras_HFunc” é constituída por uma *Network* para cada equipamento, como mostra a Figura H.1. Implementa-se uma função com o nome “Contador_NManobras_HFuncionamento” para efetuar a contagem de cada equipamento e, conseqüentemente, guardar os dados na memória. As entradas “Ligado 1” e “Ligado 2” correspondem ao sinal que indica se o equipamento está ligado. O “Num_Manobras” é a ligação a variável onde são guardados os valores das contagens de manobras e o “time” corresponde à variável responsável por guardar a contagem do número de horas de funcionamento. O “Rset_Manobras” e o “Rset_Horas” são os dois sinais responsáveis por efetuar *reset* nas contagens quando seleccionados no *display touch screen*.

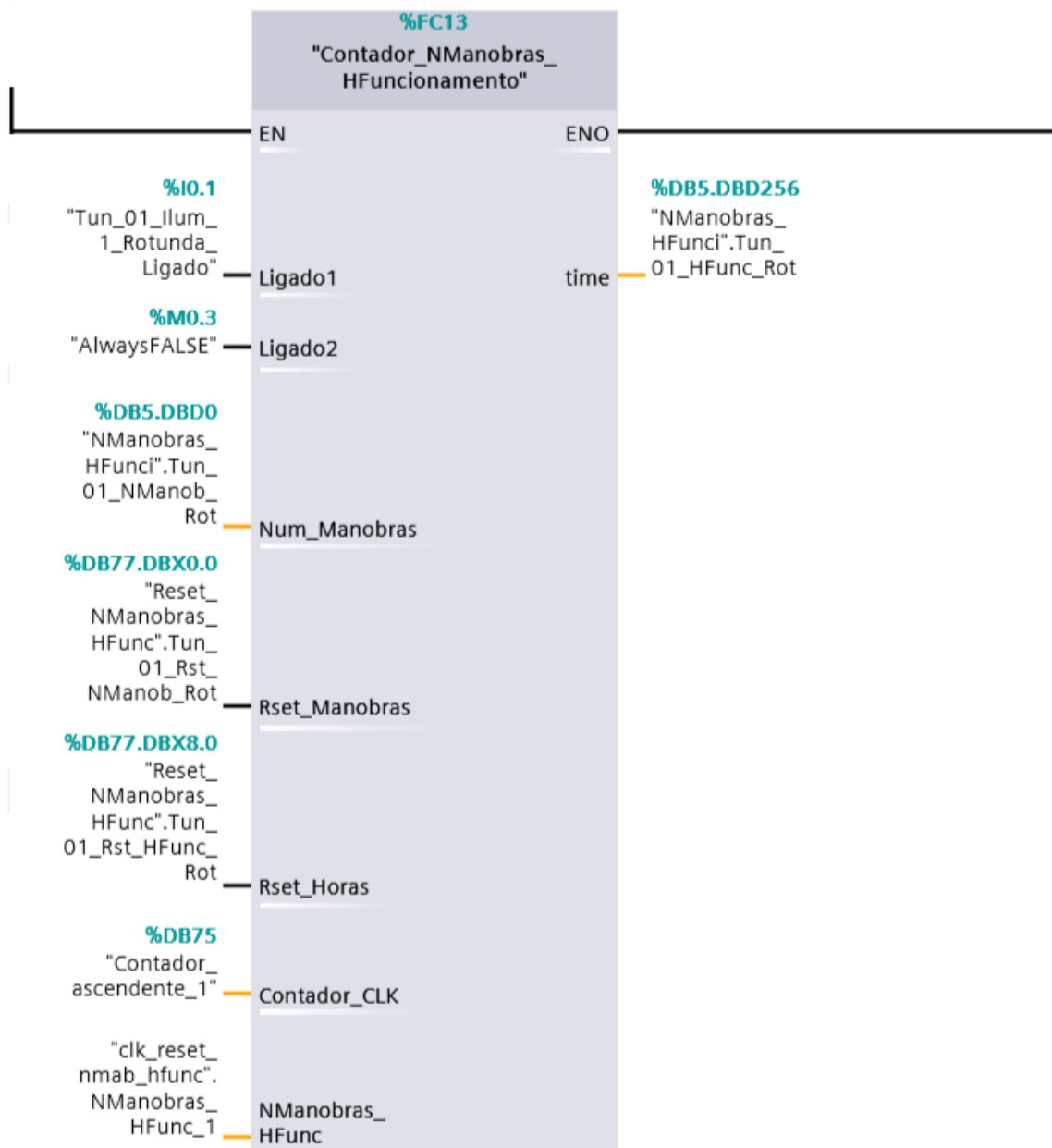


Figura H.1 – Função “Contador_NManobras_HFuncionamento”.

A função “Contador_NManobras_HFuncionamento” contém uma primeira *Network* responsável por efetuar a contagem do número de manobras do equipamento, como é possível visualizar na Figura H.2. Se um ventilador estiver ligado no sentido São Vicente – Boaventura, a variável “Ligado 1” é ativada. O ventilador ao estar ligado no sentido contrário a variável “Ligado 2” é ativada. Sendo utilizada a função P_TRIG que fornece um impulso à função ADD quando o ventilador é ativo, para que seja incrementado um valor na contagem do número de manobra do ventilador. Utiliza-se também a função MOVE para que quando a variável “Rset_Manobras” for ativada, o *reset* na contagem de manobra seja efetuada.

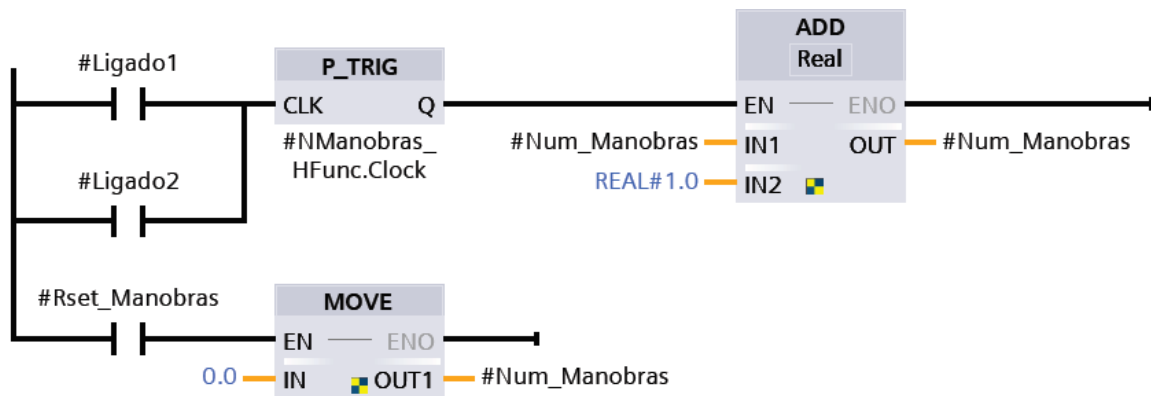


Figura H.2 – Função “Contador_NManobras_HFuncionamento” – *Network* 1, Contagem do número de manobras.

A *Network* 2, representada na Figura H.3, tem como objetivo contar os minutos e as horas de funcionamento do equipamento. Utiliza-se um contador a uma frequência de 1 Hz, que ao atingir o valor 60 incrementa a variável dos minutos. Os segundos são colocados a zero, para nova contagem. A contagem dos minutos é controlada, e quando esta atinge o valor 60 incrementa-se as horas.

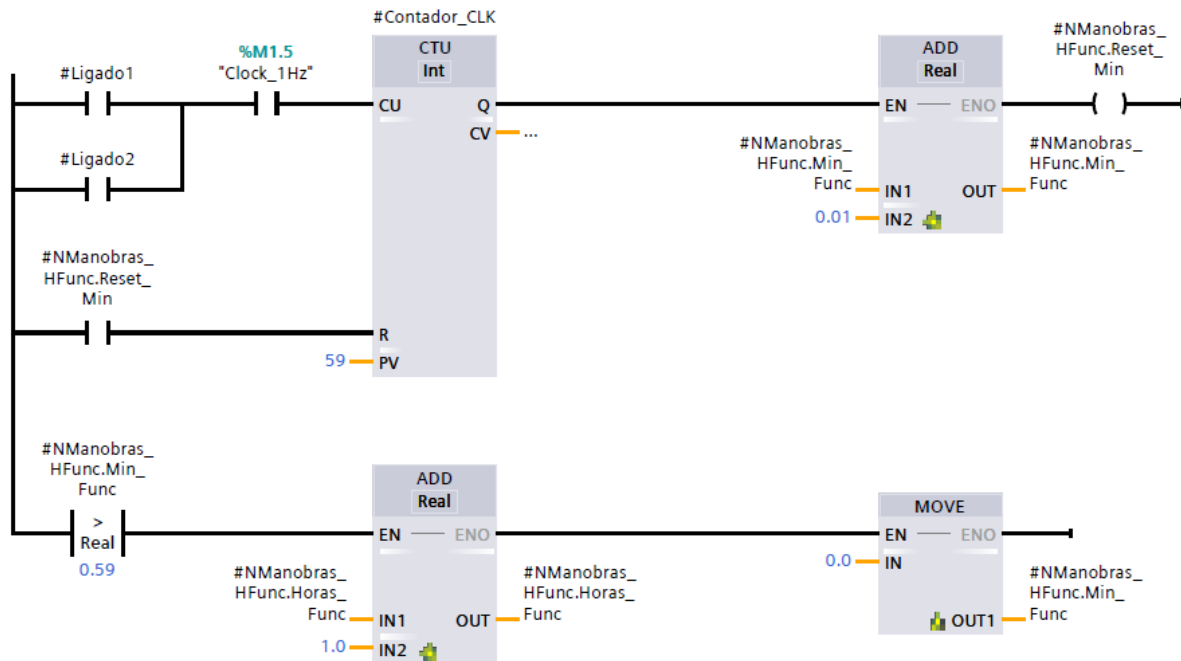


Figura H.3 – Função “Contador_NManobras_HFuncionamento” – *Network 2*, contagem de minutos e de horas.

Na Figura H.4, encontra-se representada a *Network 3* que soma as horas e os minutos. Na *Network 3* há a possibilidade de fazer *reset* na contagem, por parte do utilizador, quando há substituição de algum equipamento, obrigando a uma nova contagem.

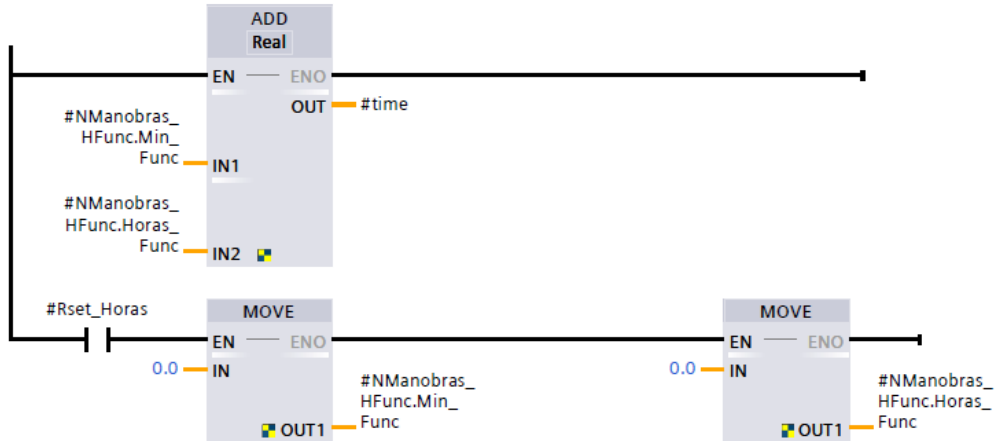


Figura H.4 – Função “Contador_NManobras_HFuncionamento” – *Network 3*, soma de minutos com horas e possibilidade de *reset*.

Anexo I – Menus de visualização no HMI

A Figura I.1 apresenta o menu do Sistema e a Figura I.2 apresenta o submenu de diagnóstico.

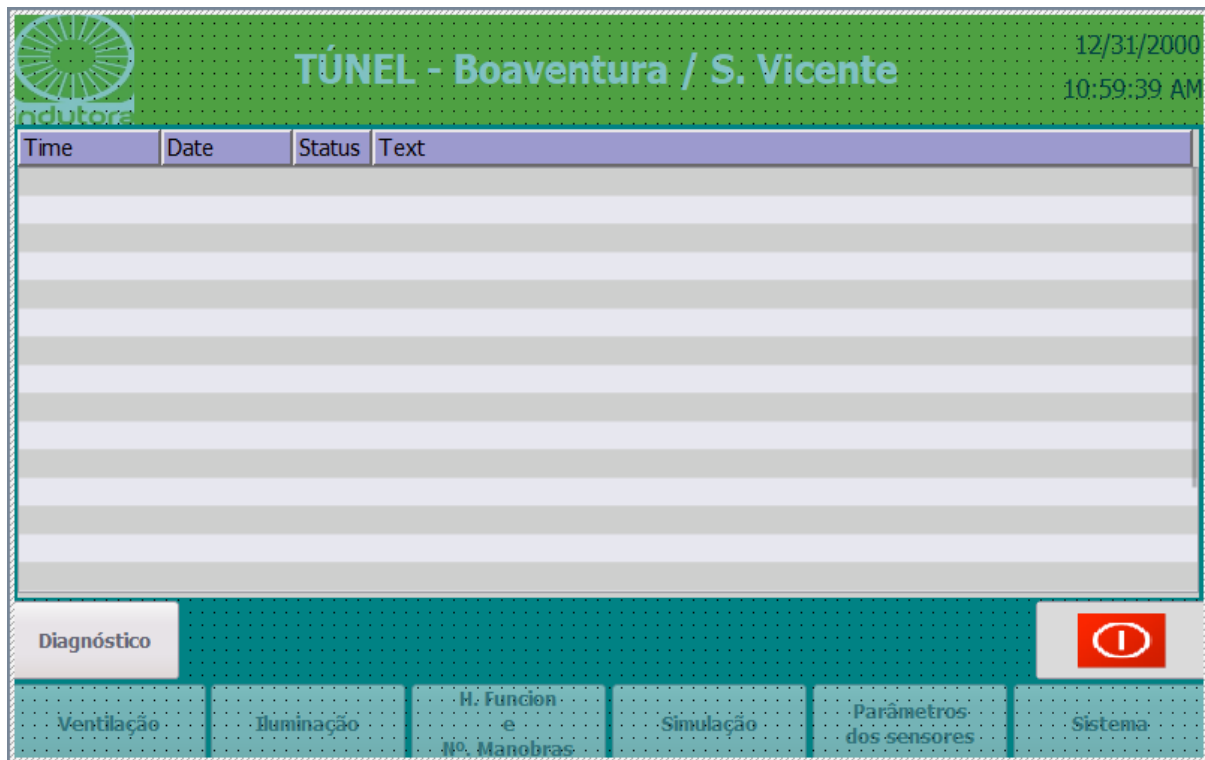


Figura I.1 – Menu do sistema.

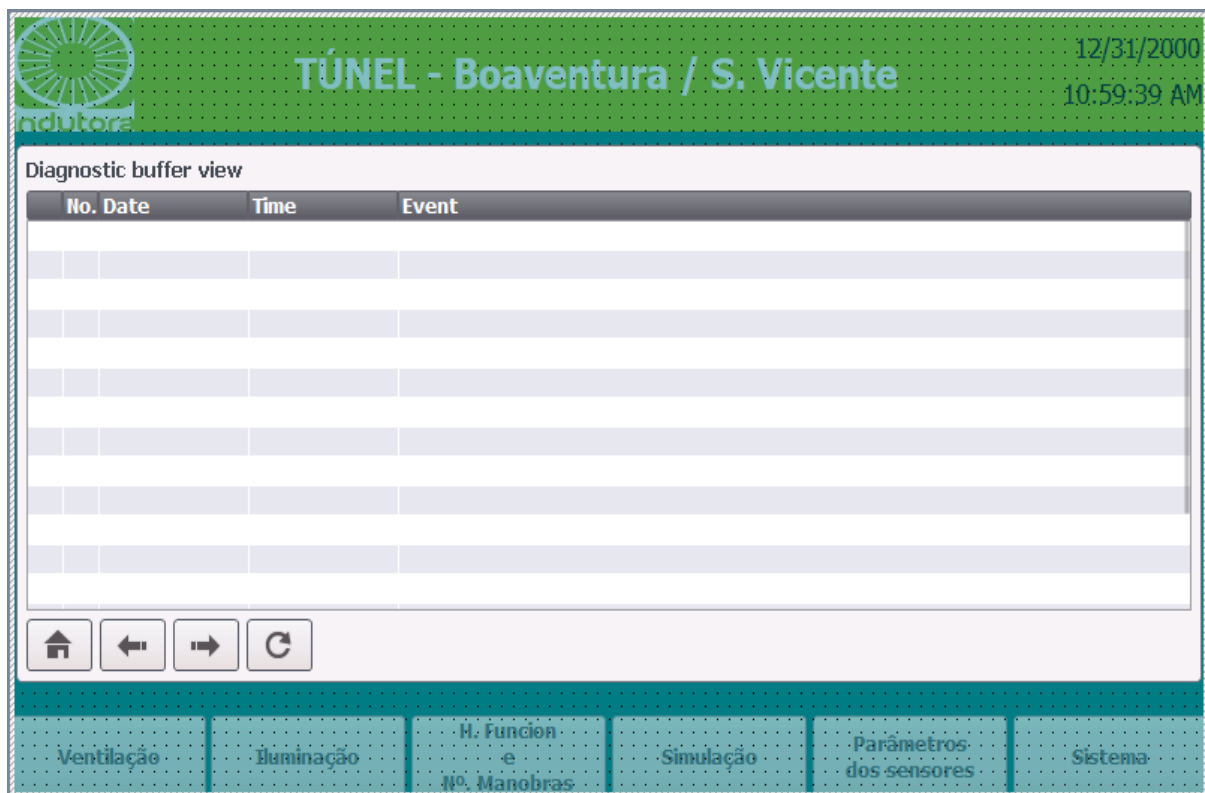


Figura I.2 – Menu dos diagnósticos.