

Projeto de Iluminação de Edifícios Escolares Existentes

Trabalho de Projeto apresentado para a obtenção do grau de Mestre em
Instalações e Equipamentos em Edifícios

Autor

Nuno Miguel Lopes da Cruz Neves

Orientadores

Dulce Helena de Carvalho Coelho (ISEC)

Manuel Maria Abranches Travassos Valdez (ISEC)

Supervisor

Luís Miguel Santos Costa (CM Coimbra)

Instituição

IPC-Instituto Politécnico de Coimbra

Coimbra, dezembro, 2013

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, Engenheira Dulce Coelho, Engenheiro Manuel Valdez e Engenheiro Santos Costa, pela disponibilidade e ajuda dada ao longo da realização deste projeto.

Aos meus amigos e colegas que sempre que foi necessário, me apoiaram nos momentos mais difíceis e conturbados, para que este trabalho fosse possível. Em especial ao meu amigo Sérgio.

Por fim, quero dar uma palavra de agradecimento à minha família, em especial aos meus Pais e Irmã por me ajudarem a ser aquilo que sou hoje, e por ter chegado até aqui.

E a toda a gente que directa ou indirectamente me auxiliaram naquilo que puderam, alguns sem saberem, em tudo o que foi feito até agora, o meu muitíssimo obrigado.

RESUMO

Os edifícios são responsáveis por cerca de 40% do consumo total de energia e por 35% do total de emissões de CO₂ na União Europeia (UE). Como consequência, a redução do consumo de energia no setor dos edifícios oferece um enorme potencial de redução da dependência energética da UE e das emissões de gases de efeito estufa. Além disso, a UE exige de todos os Estados Membros uma economia de energia neste sector.

As autoridades locais podem planear e implementar diversas medidas para o incremento da eficiência energética das instalações municipais, nomeadamente nos sistemas de iluminação dos edifícios públicos, como é o caso de alguns edifícios escolares, tornando a iluminação eficiente e a poupança energética preocupações fundamentais nas escolas. Para além da redução significativa dos encargos com a energia, investir em eficiência energética nos edifícios escolares pode traduzir-se em benefícios ambientais, económicos e educacionais.

A iluminação numa escola é essencial para a criação de um ambiente agradável para os alunos e professores e tem benefícios na produtividade académica. A iluminação nas escolas deve proporcionar conforto visual, garantir uma boa visibilidade para os níveis de iluminação necessários para todas as atividades escolares, usar as lâmpadas e luminárias mais eficientes para iluminar o espaço e garantir que a manutenção e limpeza são facilmente realizadas.

Neste contexto, a Câmara Municipal de Coimbra tem vindo a desenvolver esforços no sentido de dotar os edifícios escolares, pelos quais é responsável, com tecnologias de iluminação eficientes que garantam uma boa qualidade de iluminação e ao mesmo tempo reduzam os consumos de eletricidade e a fatura energética.

Este Relatório apresenta o projeto de um sistema de iluminação eficiente desenvolvido para as "Escolas Anexas". O projeto teve em consideração as características do edifício e as características elétricas e fotométricas das luminárias. As simulações foram realizadas com o software Dialux.

Palavras chave: Eficiência Energética, Edifícios Escolares, Iluminação Eficiente.

ABSTRACT

Buildings account for 40% of total energy consumption and 35% of the total CO₂ emitted in the European Union. Therefore, reducing energy consumption in the building sector offers a great potential of reduction of the EU's energy dependence and greenhouse gas emissions. Furthermore, the EU requires from all EU member states to save energy in this sector.

Local authorities can plan and implement several measures to increase energy efficiency of municipal facilities and operations, namely in the lighting systems of public buildings such as some school buildings, making efficient lighting and energy saving key concerns in schools. Along with achieving significant energy cost savings, investing in energy efficiency in school buildings can produce environmental, economic, and educational benefits.

In school buildings, light plays an important role in creating a pleasant environment for students and teachers and has benefits to educational productivity. Lighting in schools should deliver visual comfort, ensure good visibility for all school activities to the required lighting levels, use the most efficient lamps and luminaires to light the space and ensure that maintenance and cleaning can be easily carried out.

In this context, the Municipality of Coimbra has developed efforts to provide the school buildings, under its responsibility, with efficient lighting technologies that ensure a good quality of lighting while reducing energy consumption and consequently reduce energy bills.

This report aims at presenting the description a project design for an efficient lighting system performed for the school building “Escolas Anexas”. The project has been developed taking into account the building's characteristics and both electrical and photometric characteristics of the luminaires. The simulation studies have been conducted with the Dialux software.

Keywords: Efficient Lighting, Energy Efficiency, School Buildings.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABELAS	ix
SIMBOLOGIA	x
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Motivação e Objetivos do Projeto	3
1.2. Estrutura do Relatório	3
2. ILUMINAÇÃO EFICIENTE EM EDIFÍCIOS ESCOLARES	5
2.1. Requisitos de uma Iluminação Eficiente.....	5
2.2. Projeto de Iluminação Interior Eficiente.....	6
2.2.1. Parâmetros a Considerar	7
3. CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO DAS ESCOLAS ANEXAS	9
3.1. Caracterização do Edifício	9
3.2. Caracterização das cargas de iluminação.....	10
3.3. Caracterização das cargas de receção (tomadas).....	12
3.4. Caracterização das cargas de iluminação de emergência.....	14
3.4.1. Condições Genéricas	14
3.4.2. Condições Específicas	19
3.5. Quadros elétricos	20
3.5.1. Condições Genéricas	20
3.5.2. Cálculos Justificativos.....	22
3.6. Equipamentos e materiais.....	27
3.6.1. Luminárias	27
3.6.2. Detetor de Movimento/Luminosidade.....	28
3.6.3. Caixas	28
3.6.4. Condutores.....	29
3.6.5. Disjuntores.....	29
3.7. Classificação dos locais	30
3.7.1. Código IP.....	30
3.7.2. Código IK	31
3.7.3. Estabelecimentos Recebendo Público	31
3.7.4. Proteção Contra Descargas Atmosféricas.....	31
3.8. Redes de Terras	32
4. ANÁLISE DO PROJETO DE ILUMINAÇÃO	35
4.1. Projeto A	37
4.2. Projeto B.....	40

4.3. Projeto C.....	43
4.4. Projeto D	46
4.5. Plug-in Philips	48
4.6. Análise Económica dos Projetos	51
5. RESULTADOS E CONCLUSÕES	53
5.1. Discussão das Propostas/Projetos apresentados	53
5.2. Resultados e Comparações	55
5.3. Cumprimento dos objetivos e Trabalhos futuros.....	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
ANEXOS.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 – Curva de distribuição luminosa.....	7
Figura 3. 1 – Escola 1ºciclo nº10 (Anexas), lado poente.	9
Figura 3. 2 – Vista geral da escola em planta.....	10
Figura 3. 3 – Iluminação Normal R\C Ala Poente.....	11
Figura 3. 4 – Iluminação Normal 1º Andar Ala Poente.	11
Figura 3. 5 – Iluminação Normal R/C Ala Nascente.....	12
Figura 3. 6 – Iluminação Normal 1º Andar Ala Nascente.....	12
Figura 3. 7 – Tomadas R\C Ala Poente.....	13
Figura 3. 8 – Tomadas 1º Andar Ala Poente.	13
Figura 3. 9 – Tomadas R\C Ala Nascente.....	14
Figura 3. 10 – Tomadas 1º Andar Ala Nascente.	14
Figura 3. 11 – Exemplo de iluminação antipânico ou ambiente.	15
Figura 3. 12 – Exemplo de iluminação de segurança de circulação.....	15
Figura 3. 13 – Símbolos iluminação segurança nas peças desenhadas.....	16
Figura 3. 14 – Exemplos de iluminação ativa e passiva.	16
Figura 3. 15 – Iluminação de Segurança e Caminhos de Evacuação R/C Ala Poente.	17
Figura 3. 16 – Iluminação de Segurança e Caminhos de Evacuação 1ºAndar Ala Poente.....	17
Figura 3. 17 – Iluminação de Segurança e Caminhos de Evacuação R/C Ala Nascente.....	18
Figura 3. 18 – Iluminação de Segurança e Caminhos de Evacuação 1ºAndar Ala Nascente. .	18
Figura 3. 19 – Exemplo da curva disparo tipo C.....	21
Figura 3. 20 – Exemplo de quadro atual das instalações.	27
Figura 3. 21 – Exemplo de um disjuntor com curva de disparo tipo C.	30
Figura 3. 22 – Exemplo de uma ligação à terra em anel.	32
Figura 4. 1 – Luminárias atuais das salas de aula.....	35
Figura 4. 2 – Luminária exterior.....	35
Figura 4. 3 – Primeira luminária usada no projeto A.....	38
Figura 4. 4 – Simulação em Dialux da Philips Celino TCS 2xTL5 40W.....	38
Figura 4. 5 – Segunda luminária usada no projeto A.....	39
Figura 4. 6 – Simulação em Dialux com Philips Celino TCS 2xTL5 49W, com outro refletor.	39
Figura 4. 7 – Segunda luminária usada no projeto A.....	40
Figura 4. 8 – Simulação em Dialux com Philips Celino mono-lâmpada.	40
Figura 4. 9 – Primeira luminária usada no projeto B.....	41
Figura 4. 10 – Simulação em Dialux com Philips Celino TBH318 e Celino BCS680 W7L122.	41
Figura 4. 11 – Segunda luminária usada no projeto B.....	42

Figura 4. 12 – Simulação em Dialux com Philips Celino TBH424 2xTL5 Philips Celino BCS680 W7L122.....	42
Figura 4. 13 – Terceira luminária usada no projeto B.	43
Figura 4. 14 – Simulação em Dialux com Philips Celino TBH424 2xTL5 28W HFP C5-H GT.	43
Figura 4. 15 – Primeira luminária usada no projeto C.	44
Figura 4. 16 – Simulação em Dialux com Philips Smartform TCS460 2xTL5 e TWS462 1xTL5 HFP MLO P.	44
Figura 4. 17 – Segunda luminária usada no projeto C.	45
Figura 4. 18 – Simulação em Dialux com Philips Smartform TCS460 1xTL5-73W HFP C8-VH.	45
Figura 4. 19 – Primeira luminária usada no projeto D.	46
Figura 4. 20 – Simulação em Dialux com Philips Arano TCS640 2xTL5-32W HFP C8	46
Figura 4. 21 – Segunda luminária usada no projeto D.	47
Figura 4. 22 – Simulação em Dialux com Philips Arano TCS640 3xTL5-20W HFP C8 VH.	47
Figura 4. 23 – PlugIn do Fabricante Philips para Dialux.	48
Figura 4. 24 – Base de dados do PlugIn da Philips.	49
Figura 4. 25 - Layout do site.	50
Figura 4. 26 – Parâmetros de escolha disponível no site.	50

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3. 1 – Índices de proteção código IP.....	30
Tabela 3. 2 – Índice IK.....	31
Tabela 3. 3 – Classificação dos edifícios de acordo com a lotação.....	31
Tabela 4. 1 – Exemplos de fatores de reflexão de objetos.....	37
Tabela 4. 2 – Fatores de Manutenção.	37
Tabela 4. 3 – Comparação das tecnologias com base nos custos e consumos anuais.	52
Tabela 4. 4 – Indicadores económicos.	52
Tabela 5. 1 – Comparação de Resultados do Projeto A.....	55
Tabela 5. 2 – Comparação de Resultados do Projeto B.....	56
Tabela 5. 3 – Comparação de resultados do Projeto C.	57
Tabela 5. 4 – Comparação de Resultados do Projeto D.....	57

SIMBOLOGIA

ANPC – Autoridade Nacional de Proteção Civil

CCTV – Circuito fechado de televisão

Fs – Fator de Simultaneidade

Fu – Fator de Utilização

If – Corrente convencional de funcionamento

IK – Índice de proteção contra choques mecânicos

In – Corrente estipulada

IP – Índice de proteção

Is – Corrente de serviço

ITED – Infraestruturas de telecomunicações em edifícios

Iz – Corrente admissível na canalização

Izc – Corrente admissível na canalização corrigida

RTIEBT – Regras Técnicas de Instalações Elétricas em Baixa Tensão

1. INTRODUÇÃO

O setor dos edifícios é responsável por 40% do consumo total de energia e por 35% do total de emissões de CO₂ na União Europeia [1]. Como consequência, existe um enorme potencial de poupança de energia e a União Europeia exige de todos os Estados Membros um esforço para economizar energia neste sector.

A redução do consumo de energia no sector dos edifícios representa uma componente essencial dos esforços para a redução da dependência energética da UE e das emissões de gases de efeito estufa. A Diretiva 2002/91/EC do Parlamento Europeu e do Conselho referente ao desempenho energético dos edifícios e a sua reformulação (Diretiva 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do Conselho) são os principais instrumentos legislativos da UE para promover o aumento do desempenho energético nos edifícios. De acordo com o Plano de Eficiência Energética (Comunicação da Comissão Europeia nº 109/2011), o maior potencial de poupança de energia é o oferecido pelos edifícios. O plano incide nos instrumentos destinados a desencadear o processo de renovação em edifícios públicos e privados e a melhorar o desempenho energético dos componentes e equipamentos neles utilizados.

A primeira Diretiva relativa ao desempenho energético dos edifícios foi transposta para o ordenamento jurídico nacional através do Decreto-Lei n.º 78/2006, que aprovou o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, do Decreto-Lei n.º 79/2006, que aprovou o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, e do Decreto-Lei n.º 80/2006, que aprovou o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios.

O Decreto-Lei n.º 118/2013 assegura a transposição da Diretiva 2010/31/EU e também uma revisão da legislação nacional ao incluir, num único diploma, o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

Além da atualização dos requisitos de qualidade térmica, são introduzidos requisitos de eficiência energética para os principais tipos de sistemas técnicos dos edifícios. Ficam, assim, igualmente sujeitos a padrões mínimos de eficiência energética, os sistemas de climatização, de preparação de água quente sanitária, de iluminação, de aproveitamento de energias renováveis e de gestão de energia.

Os sistemas de iluminação consomem cerca de 10 a 20% do total dos consumos de eletricidade nos países industrializados, pelo que deve ser um dos alvos prioritários na racionalização energética [2]. Na Europa, 75% de toda a iluminação interior ainda é baseada em sistemas desatualizados e energeticamente ineficientes [3].

A utilização de equipamentos eficientes de iluminação conduz a poupanças significativas de energia elétrica podendo traduzir-se, nalguns casos, numa redução de potência e, simultaneamente proporcionar um aumento dos níveis de iluminação produzidos, conseguindo-se uma qualidade de luz superior.

As autoridades locais podem planear e implementar diversas medidas para o incremento da eficiência energética, nomeadamente nos sistemas de iluminação dos edifícios públicos de cuja gestão são responsáveis, como é o caso de alguns edifícios escolares, tornando a iluminação eficiente e a poupança energética preocupações fundamentais nas escolas. A U.S. Environmental Protection Agency [4] apresenta um guia que descreve como os governos locais podem atuar para melhorar a eficiência energética nas escolas, para reduzir os custos de energia, e criar uma gama de benefícios ambientais, económicos e educacionais.

Numa escola, os principais consumos de energia estão associados à iluminação, à utilização de equipamentos informáticos e audiovisuais e à produção de água quente. A melhoria da eficiência energética passa por intervenções que envolvem investimentos, os quais são da responsabilidade da Direção da escola e da Autarquia local, mas também pela adoção de boas práticas a nível comportamental, que são da responsabilidade de todos os utilizadores das escolas. Os alunos, em particular, têm a oportunidade de aprender a partir das etapas iniciais de ensino como ter um papel ativo e primordial no combate ao desperdício.

A iluminação numa escola é essencial para as aulas e todas as outras atividades. Além de ser o principal sector consumidor de energia elétrica, devido à elevada quantidade de equipamentos e as horas de funcionamento, é uma das áreas onde é mais fácil implementar soluções para melhorar a eficiência energética e reduzir os consumos de energia.

Neste contexto, a Câmara Municipal de Coimbra tem vindo a desenvolver esforços no sentido de dotar os edifícios escolares, pelos quais é responsável, com tecnologias de iluminação eficientes que garantam uma boa qualidade de iluminação e ao mesmo tempo conduzam a uma redução dos consumos de eletricidade com a consequente redução dos encargos de faturação.

1.1. Motivação e Objetivos do Projeto

Existe uma enorme necessidade de uma iluminação eficiente e de qualidade nos edifícios escolares, uma vez que os equipamentos existentes atualmente carecem de alguma manutenção, devido à idade e ao mau estado que apresentam.

Outra falha nas instalações é a falta de iluminação de emergência visível e de qualidade. Não é exigido pelas Regras Técnicas de Instalações Elétricas em Baixa Tensão (RTIEBT), fontes centralizadas de energia elétrica de emergência, como por exemplo grupos geradores.

O principal objetivo deste projeto é a seleção de um sistema de iluminação eficiente para o edifício escolar “Escolas Anexas, escola do 1º ciclo nº10”. O desenvolvimento do projeto envolveu:

- A elaboração das plantas em *Autocad* das instalações elétricas, desde iluminação, tomadas, iluminação de emergência e quadros elétricos;
- A elaboração da memória descritiva de toda a instalação;
- A escolha da melhor solução de luminárias/tecnologia para as salas de aula, recorrendo ao software *Dialux*;
- Uma análise técnico-económica das tecnologias escolhidas.

1.2. Estrutura do Relatório

O presente Relatório encontra-se dividida em cinco capítulos.

Neste capítulo, “Introdução”, são expostas as motivações e o objetivo do trabalho realizado e é efetuado um pequeno resumo de cada um dos capítulos do Relatório.

No capítulo dois é feita uma abordagem à iluminação eficiente em edifícios escolares.

No capítulo três é apresentada a caracterização do edifício escolar, desde a sua constituição, à caracterização das cargas de iluminação, circuitos elétricos, quadros, etc.

No capítulo quatro faz-se uma análise do projeto de iluminação, consoante as tecnologias apresentadas, com recurso ao software *Dialux*.

No capítulo cinco é feita uma discussão das propostas/projetos analisados, são apresentadas as principais conclusões e sugeridas pistas de desenvolvimento futuro.

2. ILUMINAÇÃO EFICIENTE EM EDIFÍCIOS ESCOLARES

Nos últimos anos, a utilização da luz natural tem vindo a aumentar como resposta à nova crise energética, à crescente preocupação com o ambiente e à crescente exigência humana a nível de conforto. Daqui resultou a necessidade de uma redução nos consumos de energia nos edifícios e um aumento da qualidade do ambiente interior.

Naturalmente, só se pode alcançar este potencial de redução tirando um maior partido da iluminação natural e introduzindo, também, certas medidas de controlo da iluminação artificial, de forma a reduzir o seu uso ou até mesmo desligá-la, em função da quantidade de luz natural existente no interior do edifício. Este potencial aumenta se pensarmos em edifícios de serviços, onde o consumo de energia em iluminação artificial tem uma fatia importante no total de energia consumida.

Nos edifícios escolares, que para além de abrigo têm um papel educativo, tem-se assistido em toda a Europa a uma crescente promoção de soluções sustentáveis que envolvem tecnologias e medidas de eficiência energética [5].

A iluminação constitui uma das utilizações finais em que a introdução de soluções energeticamente eficientes mais compensa, em termos de economia de energia e (ou) de conforto [6]. Ao nível da iluminação existem várias medidas de melhorias de eficiência energética que proporcionam, para além de uma poupança de energia, melhores condições de iluminação dos espaços interiores e exteriores do edifício [6].

Para sistemas existentes a substituição de equipamentos ineficientes e a instalação de sistemas de iluminação artificial através do uso de iluminação natural ou sensores de presença são alternativas eficientes a serem consideradas, isto porque diferentes ambientes com distintas atividades visuais necessitam de iluminâncias diferentes. Deve-se atender, ao facto de que alguns ambientes deverão ser iluminados durante todo o tempo de utilização, enquanto outros necessitam de iluminação apenas em certos períodos do dia.

2.1. Requisitos de uma Iluminação Eficiente

Sendo a iluminação, hoje em dia, uma necessidade básica deve contribuir para o bem-estar e eficiência nas tarefas diárias, devendo, por isso, obedecer a padrões de qualidade. A iluminação é também um dos fatores que determinam a qualidade do ambiente interior dos

edifícios. Além disso, a articulação entre a luz artificial e a luz natural é essencial para se atingir a eficiência energética.

Uma boa iluminação nas escolas deve proporcionar conforto visual, boa visibilidade, boa reprodução de cores, quando necessário, a uniformidade da luz e minimiza o brilho. Assim, a iluminação nas escolas deve de acordo com[7]:

- Garantir os níveis de iluminação requeridos que assegurem uma boa visibilidade para todas as atividades escolares;
- Ter em conta a função de cada espaço, por exemplo, sala de aula, laboratório, áreas comuns;
- Ter em conta as necessidades visuais dos alunos, funcionários e outros utilizadores;
- Usar as luminárias e lâmpadas mais eficientes para iluminar o espaço;
- Minimizar os requisitos de iluminação artificial, maximizando a utilização da luz natural e usando cores claras nas paredes e tetos;
- Usar controlos de iluminação apropriados e otimizar o controlo das zonas de iluminação;
- Assegurar que a manutenção e a limpeza podem ser facilmente realizadas.

2.2. Projeto de Iluminação Interior Eficiente

Na sua forma mais simples, um sistema de iluminação energeticamente eficiente pode ser obtido através da minimização de duas variáveis, o tempo de utilização e a potência instalada. A minimização da potência instalada é obtida através da utilização de componentes do sistema de iluminação artificial energeticamente eficientes como lâmpadas com alta eficiência luminosa, luminárias reflexivas, balastros e sistemas de distribuição e controlo. O aproveitamento da iluminação natural através da utilização de sistemas de controlo da iluminação artificial pode minimizar o tempo de utilização do sistema de iluminação artificial. O mesmo se verifica com o uso de sensores de presença e temporizadores para áreas com ocupação intermitente.

Os projetos para melhoria de sistemas de iluminação de edificações têm como principal objetivo reduzir a potência instalada e assegurar a qualidade do serviço, através da substituição dos equipamentos existentes por outros de eficiência e vida útil mais elevadas.

Na elaboração do projeto devem-se adotar os seguintes procedimentos básicos:

- Elaborar diagnóstico do sistema de iluminação existente:

- Verificar a conformidade das especificações dos equipamentos a serem instalados com as normas técnicas aplicáveis;
- Definir as substituições de lâmpadas e demais equipamentos, qualitativa e quantitativamente.

Antes de iniciar um projeto luminotécnico energeticamente eficiente é necessário, portanto, recolher previamente uma série de dados específicos, que poderão interferir diretamente na iluminação.

2.2.1. Parâmetros a Considerar

No projeto e implementação de um sistema de iluminação eficiente deve ter-se em consideração um conjunto de parâmetros:

- Altura útil – será a distância da fonte de luz ao plano de trabalho;
- Fluxo luminoso – quantidade de luz emitida pela fonte em todas as direções (lúmen).
- Iluminância – fluxo luminoso por unidade de superfície (lux).
- Intensidade luminosa – parte do fluxo emitido por uma fonte de luz numa determinada direção, segundo o ângulo sólido que o contém (candela).
- Luminância – intensidade luminosa emitida numa direção dada por uma superfície iluminada (brilho - candela por m²).
- Curva de distribuição luminosa – resultado das medidas de intensidade de luz em vários ângulos, em redor de uma luminária (ver Figura 2.1).
- Temperatura de cor – medida em graus kelvin, é a referência para indicar a cor das fontes de luz.

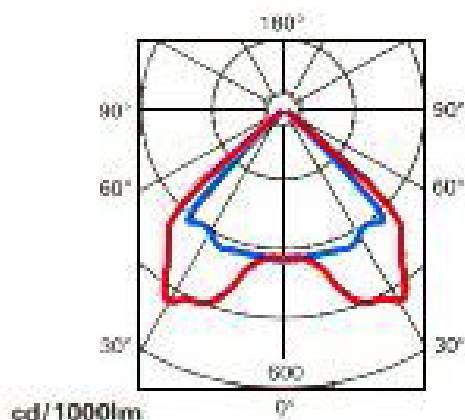


Figura 2. 1 – Curva de distribuição luminosa

3. CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO DAS ESCOLAS ANEXAS

3.1. Caracterização do Edifício

As escolas Anexas, escola 1ºciclo nº10, situam-se na Rua Infanta Dona Maria, em Coimbra (Figura 3.1). São constituídas por dois blocos, o bloco nascente e o bloco poente. Cada bloco tem dois pisos, cada piso tem quatro salas e um corredor, além de um vão de escadas e gabinetes. Existe ainda um terceiro edifício, o Pavilhão, onde está situado o refeitório, mas que não faz parte do presente projeto, uma vez que foi intervencionado recentemente.



Figura 3. 1 – Escola 1ºciclo nº10 (Anexas), lado poente.

O edifício insere-se numa malha urbana, com acesso direto através das várias ruas que o circundam. Destina-se a um estabelecimento de ensino para uma população total de 400 pessoas no máximo, incluindo professores, alunos e pessoal auxiliar de ação educativa, este número pode aumentar nos dias de festa, mas fica seguramente abaixo de 500 ocupantes, conferindo-lhe de acordo com as RTIEBT a classificação de edifício recebendo público/edifício escolar de 3ª. Categoria. Assim a iluminação de segurança será do tipo C, isto é, podendo ser realizada por blocos autónomos, com comando centralizado, para a iluminação de segurança quer de circulação quer de ambiente.

Também se constata que apenas os compartimentos destinados a arrumos de material de limpeza, cozinha e instalações sanitárias dos adultos estão “vedadas” às crianças, pois, até por

questões pedagógicas as crianças terão acesso aos arrumos de materiais didáticos. Pelo que só para estes locais se fez a distinção de circuitos exclusivos (ver Figura 3.2).

Todos os materiais e equipamentos previstos neste projeto terão os índices de proteção adequados aos locais em que vão ser instalados.

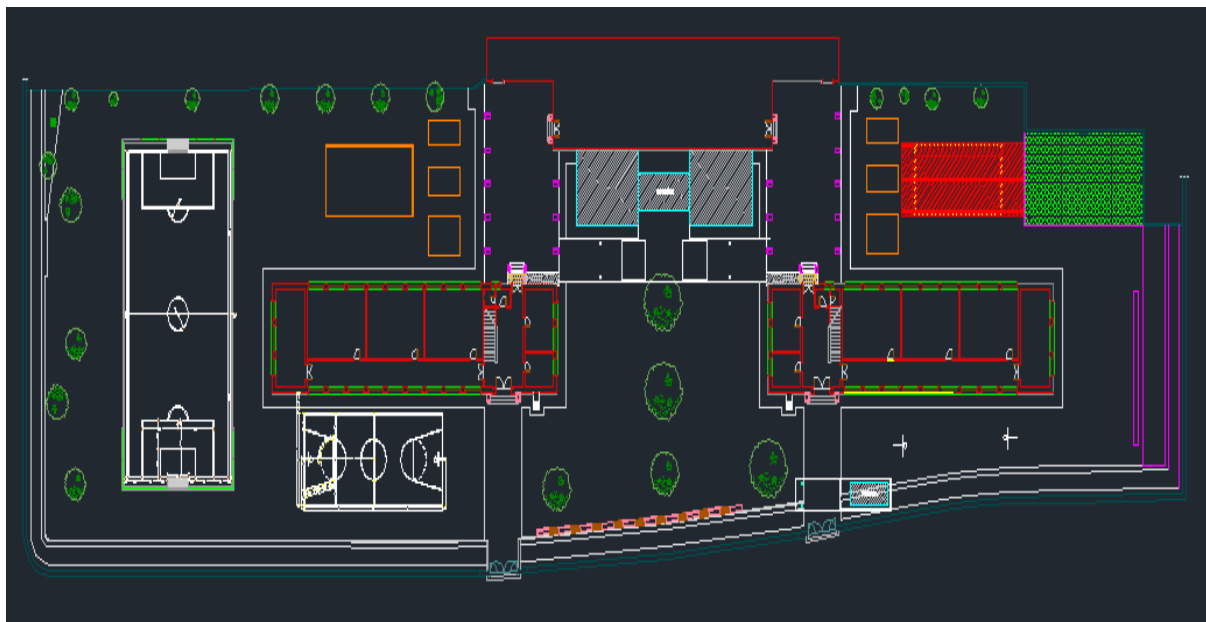


Figura 3. 2 – Vista geral da escola em planta.

3.2. Caracterização das cargas de iluminação

As cargas de iluminação das salas de aula estão dispostas em dois grupos. As duas luminárias da primeira fila estão ligadas a um interruptor, as outras quatro, ou seja, a 2ª fila e a 3ª fila estão ligadas a outro interruptor à entrada da sala. Na elaboração deste projeto tentou manter-se esse esquema, no entanto houve situações em que foi necessário trocar, ou colocar de outra forma.

De acordo com as normas da Certiel [8], cada sala de aula deverá ter dois circuitos independentes, por isso, e por uma questão de aproveitamento de canalizações existentes, ligaram-se os circuitos de salas adjacentes, dois a dois.

Foram utilizadas predominantemente luminárias com lâmpadas T5 de 35W, ou equivalente. Nas salas de aulas foi prevista a instalação de luminárias colocadas na parede, com uma aba refletora e acima do quadro para fazer a iluminação tangencial deste. A aparelhagem de comando manual será colocada no sentido de abertura das portas e a 1,50m do pavimento, aproveitando os locais de instalação da aparelhagem de comando existentes, já

os comandos por forma automática (sensores), presentes essencialmente nas casas de banho exteriores, serão colocados junto aos tetos, conforme as peças desenhadas.

Os circuitos são estabelecidos no interior de tubos encastrados nas paredes, sendo os condutores predominantemente do tipo H07V-U e H1VV-U, ou semelhantes.

A repicagem entre luminárias será efetuada de acordo com o regulamento de segurança, ou seja através de caixa de derivação, ou utilizando luminárias equipadas com fichas de ligação fácil nos seus extremos e cabeamento interno realizado de forma a permitir a continuidade do circuito para a luminária seguinte.

As caixas de derivação são para encastrar nas paredes, ou apoiadas nos caminhos de cabos (ver Figuras 3.3 a 3.6).

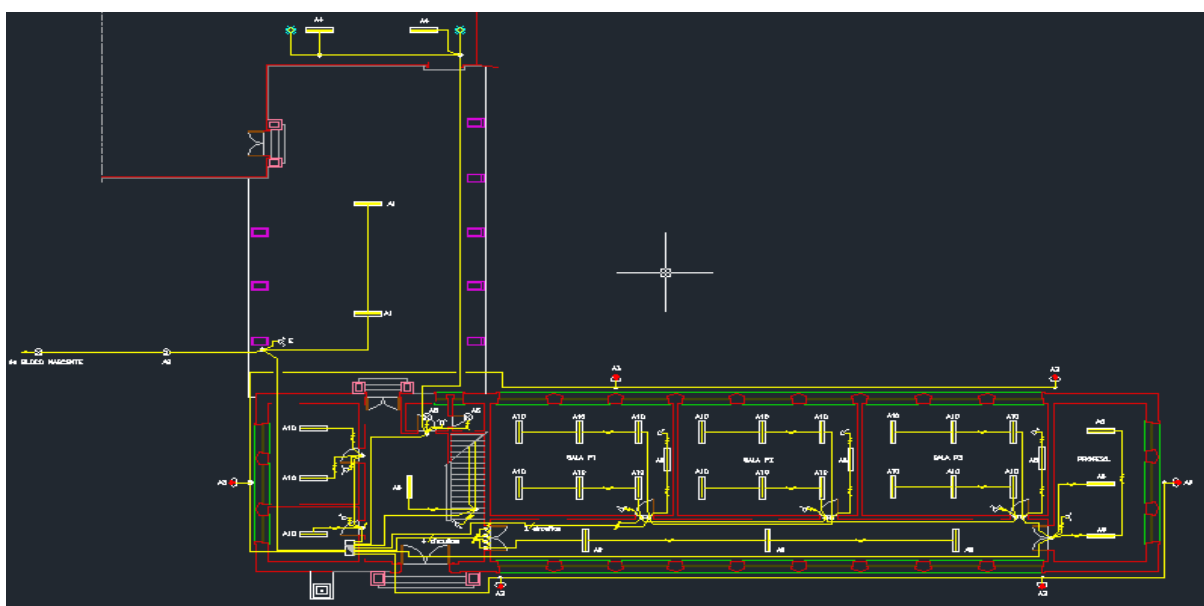


Figura 3. 3 – Iluminação Normal R\C Ala Poente.

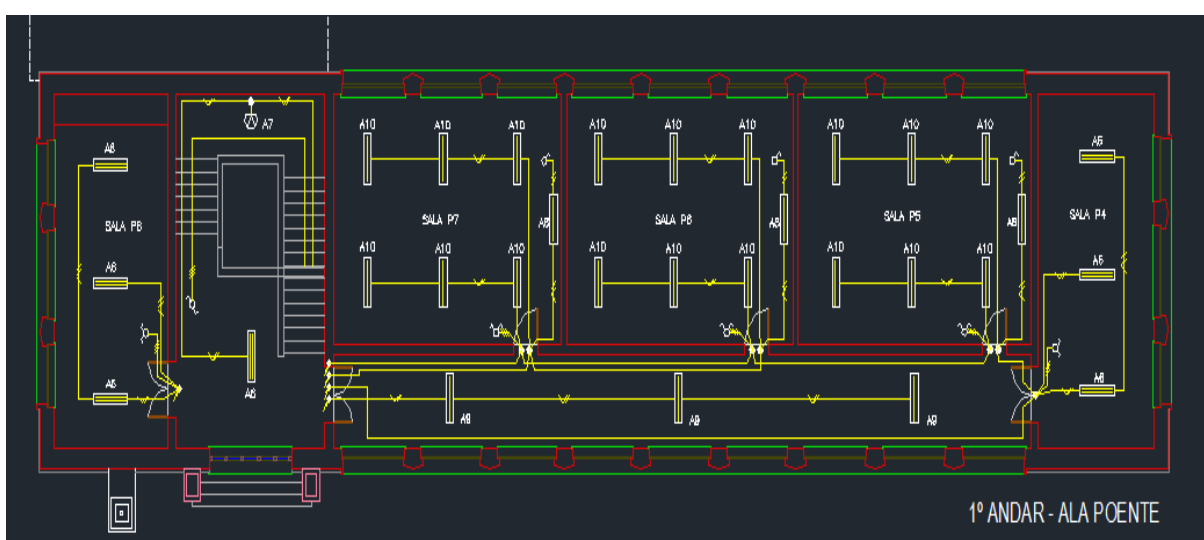


Figura 3. 4 – Iluminação Normal 1º Andar Ala Poente.

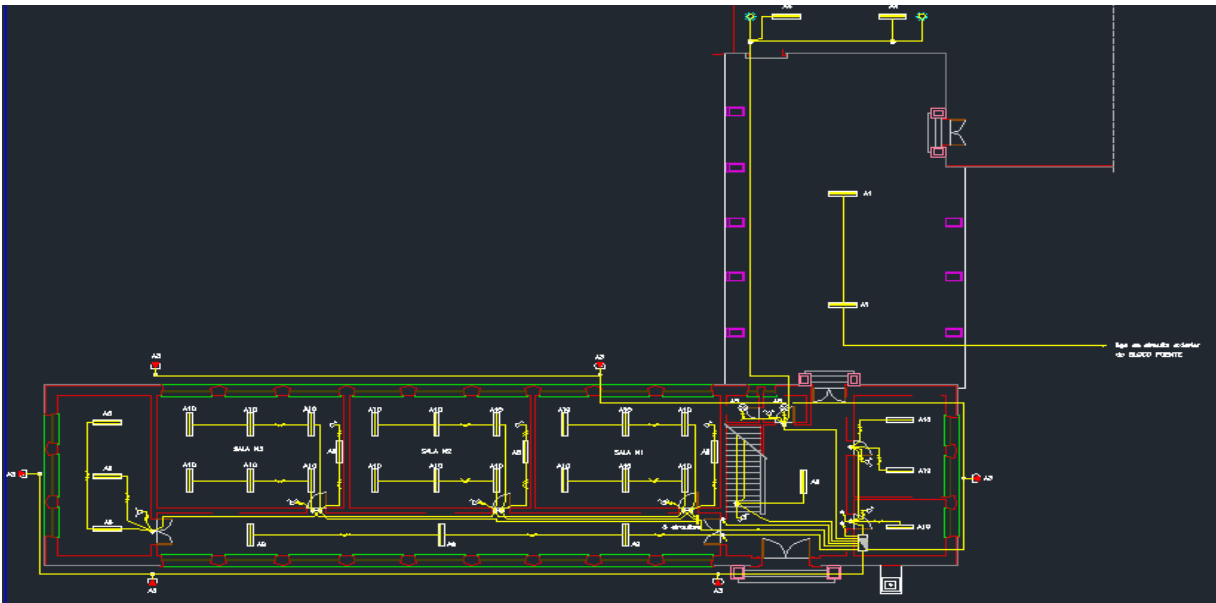


Figura 3. 5 – Iluminação Normal R/C Ala Nascente.

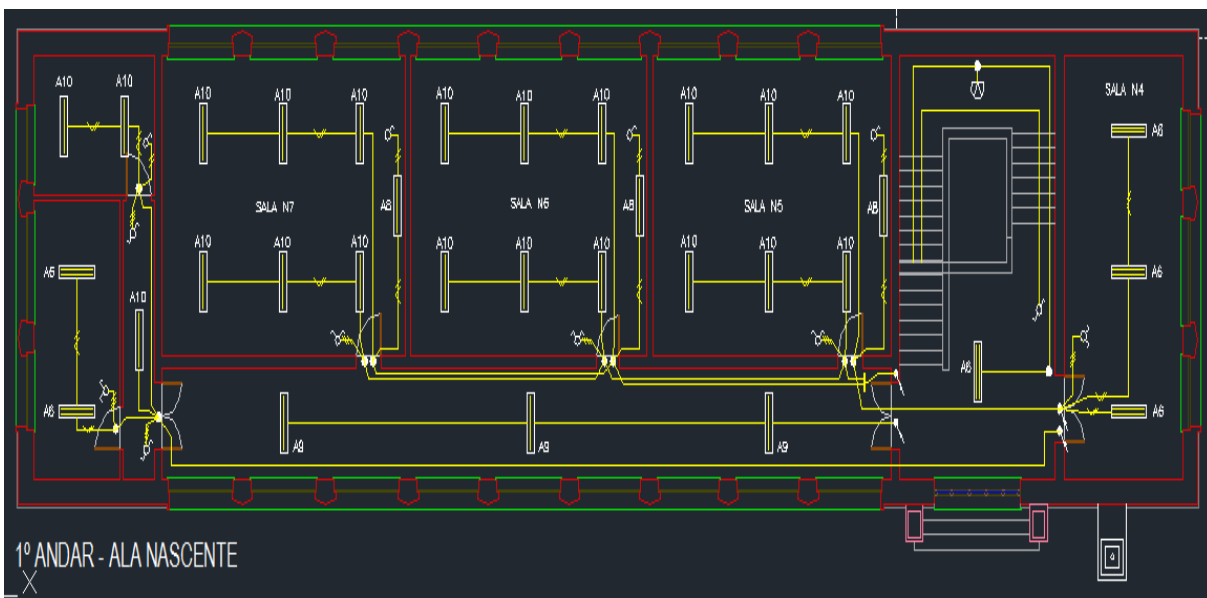


Figura 3. 6 – Iluminação Normal 1º Andar Ala Nascente.

3.3. Caracterização das cargas de receção (tomadas)

As tomadas existentes estavam todas agrupadas, tanto tomadas de informática, em calha própria, como tomadas de uso geral. O que foi feito neste projeto foi manter basicamente o mesmo número de tomadas, adicionando uma ou outra em locais necessários, mas separando as tomadas de informática das tomadas de uso geral.

Todas as tomadas possuirão dispositivo de tapamento de bornes sob tensão e os circuitos que não estejam a ser utilizados, nomeadamente nas zonas de circulação serão desligados por interruptores nos quadros elétricos.

Todas as tomadas serão de tipo *schuko* com borne de terra, ligado ao circuito de terra da instalação (ver figuras 3.7 a 3.10).

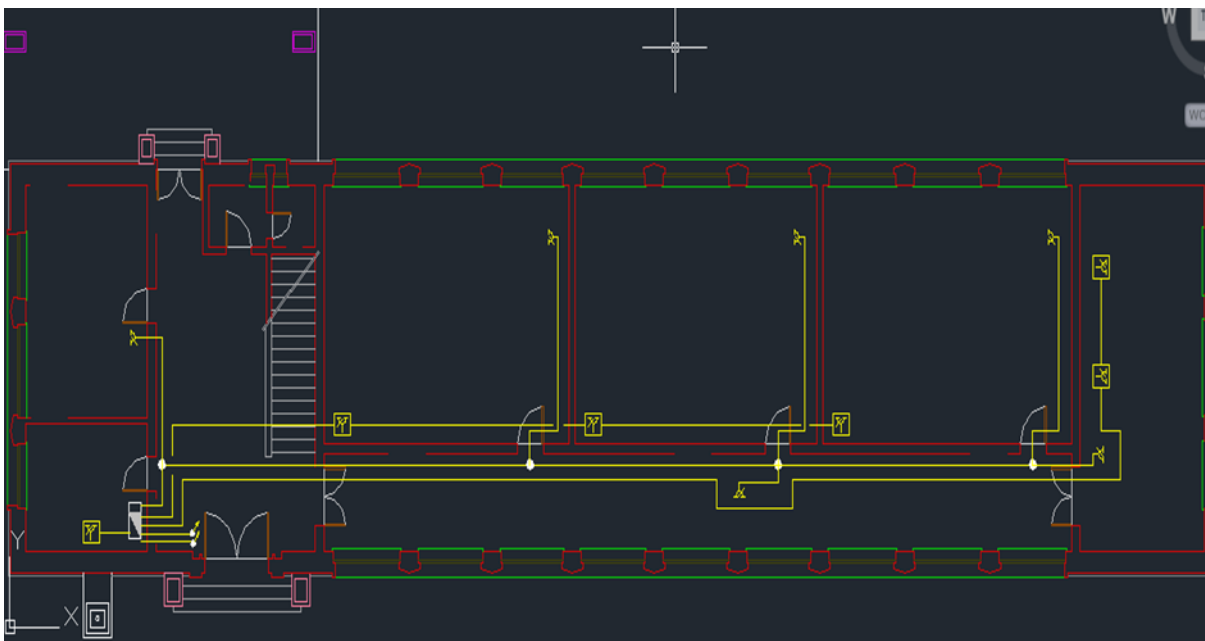


Figura 3. 7 – Tomadas R\C Ala Poente.

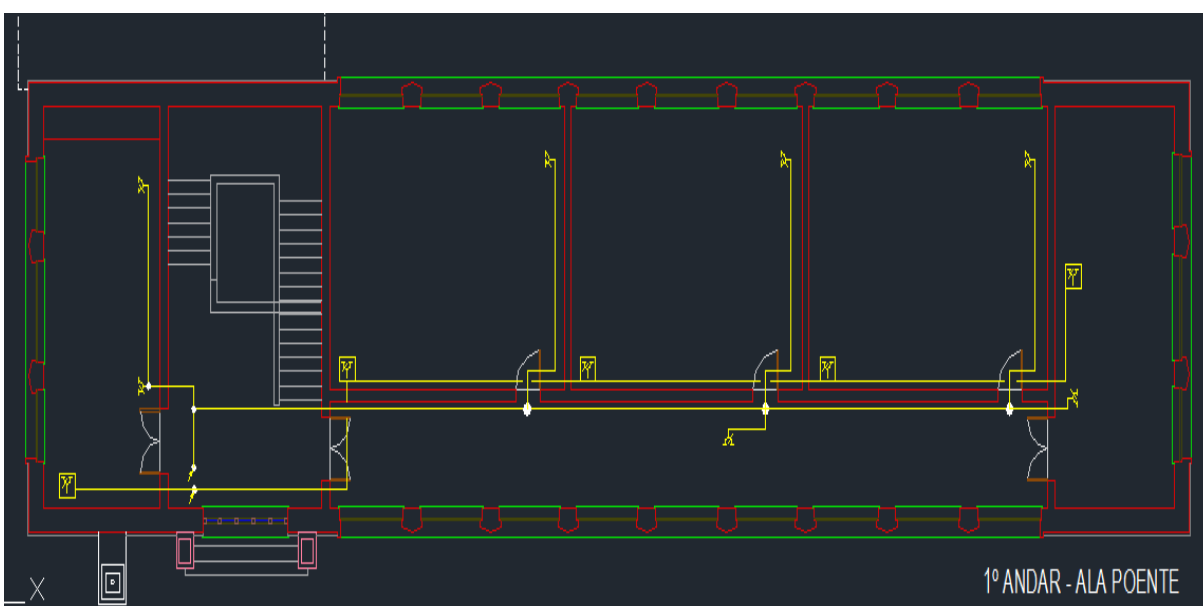


Figura 3. 8 – Tomadas 1º Andar Ala Poente.

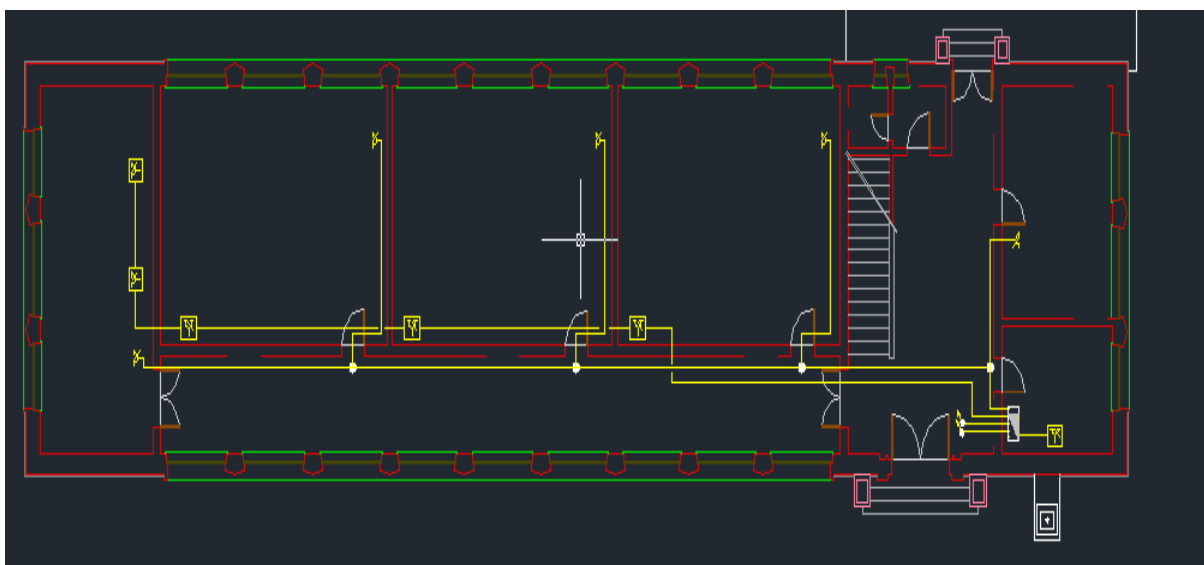


Figura 3. 9 – Tomadas R\C Ala Nascente.

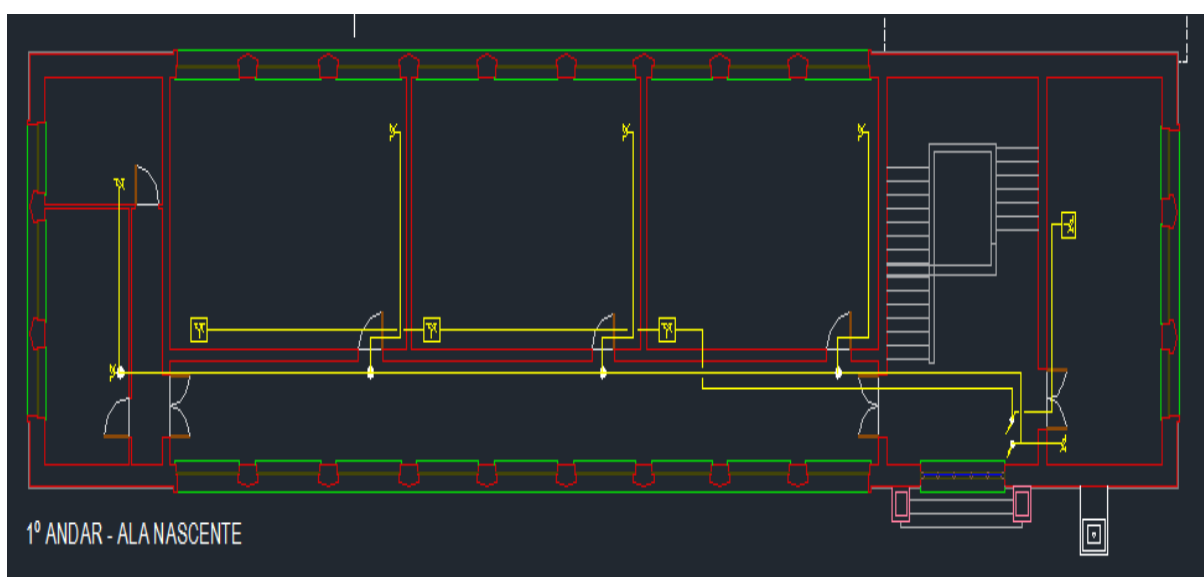


Figura 3. 10 – Tomadas 1º Andar Ala Nascente.

3.4. Caracterização das cargas de iluminação de emergência

3.4.1. Condições Genéricas

A iluminação de segurança é obrigatória para edifícios que recebem público, como é o caso desta escola.

Esta iluminação será garantida por um sistema constituído por blocos autónomos. Neste projeto foram considerados os dois sistemas, o de iluminação antipânico e o de iluminação de saída, sistemas estes que não existiam na totalidade em todo o edifício escolar.

Foram previstos para iluminação antipânico ou iluminação ambiente, blocos autónomos não permanentes, ou seja, luminárias que só acendem as lâmpadas em caso de falha da energia da rede. O objetivo deste sistema é reduzir a ansiedade e o pânico, e garantir que as pessoas se dirijam em segurança pelos caminhos de evacuação até área segura. Este sistema foi projetado em todos os locais onde se preveja que estejam sempre pessoas, neste caso, corredores e halls, com a finalidade de guiar as pessoas para as saídas. A Figura 3.11 apresenta um exemplo desse tipo de iluminação.



Figura 3. 11 – Exemplo de iluminação antipânico ou ambiente.

Para a iluminação de circulação ou iluminação de segurança de saída foi projetado um sistema com base em blocos autónomos permanentes, ou seja, luminárias que têm a lâmpada sempre acesa, haja ou não haja energia da rede. Foram projetados para as portas das salas de aula, portas de corredores, escadas e qualquer lugar onde haja mudança de direção, por forma a permitir a evacuação das pessoas em segurança. Na Figura 3.12 é apresentado um exemplo de iluminação de segurança de circulação.



Figura 3. 12 – Exemplo de iluminação de segurança de circulação.

A iluminação ambiente e de circulação será garantida pela adoção de armaduras do tipo autónomo, conforme foi dito anteriormente e se especifica nas peças desenhadas. Na Figura 3.13 apresentam-se os símbolos em *Autocad* destas duas formas de iluminação de segurança.

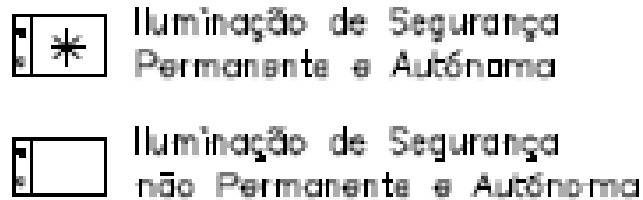


Figura 3. 13 – Símbolos iluminação segurança nas peças desenhadas.

O sistema previsto contempla a instalação de circuitos próprios para alimentação de armaduras destinadas a iluminação ambiente, a funcionarem com autonomia de 1 hora como referido anteriormente. Do mesmo modo foram criados circuitos independentes para alimentação das armaduras para iluminação de circulação/sinalização de saídas, incluído pictograma, também com uma autonomia de 1 hora.

Este tipo de sinalização tem a denominação de iluminação ativa (ver lado esquerdo da Figura 3.14), sendo a passiva a identificação de sistemas de combate a incêndios, quadros elétricos, etc (ver lado direito da Figura 3.14).



Figura 3. 14 – Exemplos de iluminação ativa e passiva.

De acordo com o referido anteriormente, o projeto de iluminação de segurança foi elaborado de acordo com as normas existentes. Existem aparelhos de iluminação de saída e de circulação em todos os vãos, e foram contemplados ainda aparelhos de iluminação ambiente em zonas amplas, como por exemplo corredores e hall's de escadas (figuras 3.15 a 3.18).

Foi também elaborado em conjunto com este projeto, a marcação de caminhos de evacuação, para facilitar a saída das pessoas em segurança. Estes caminhos de evacuação serão os que irão ser marcados nas plantas de emergência espalhados pelo edifício.

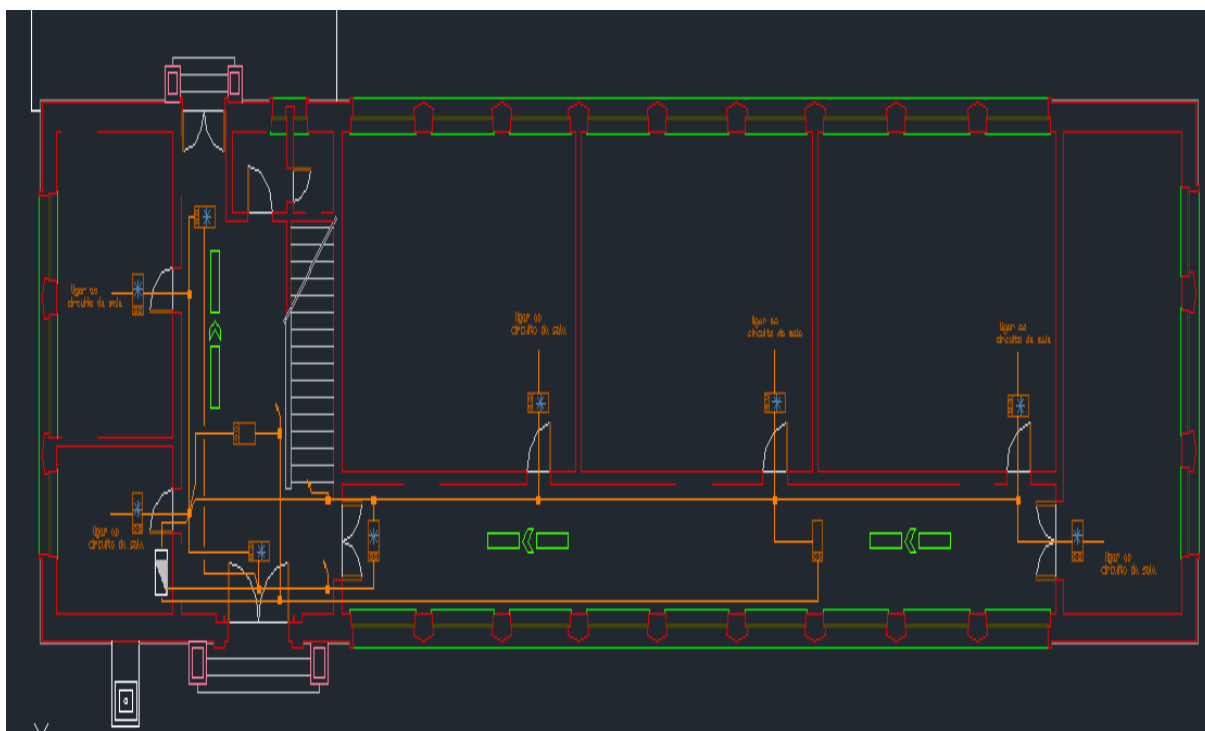


Figura 3. 15 – Iluminação de Segurança e Caminhos de Evacuação R/C Ala Poente.

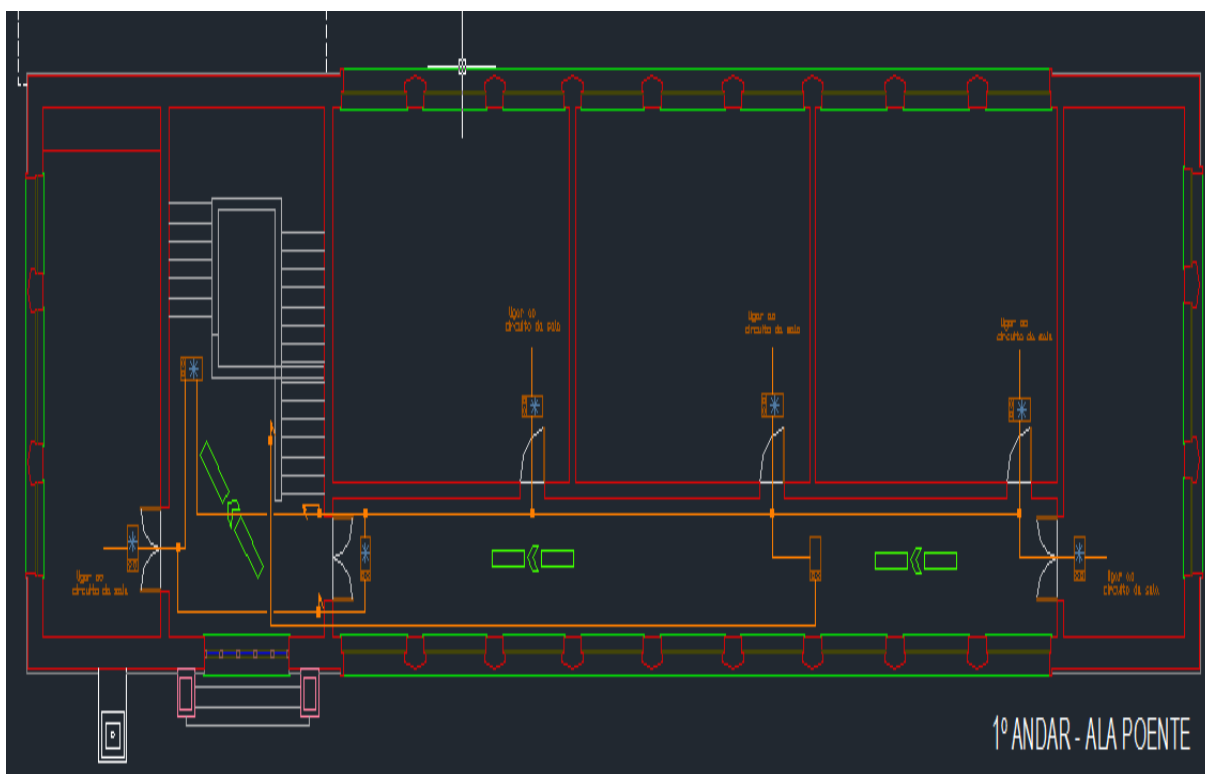


Figura 3. 16 – Iluminação de Segurança e Caminhos de Evacuação 1ºAndar Ala Poente.

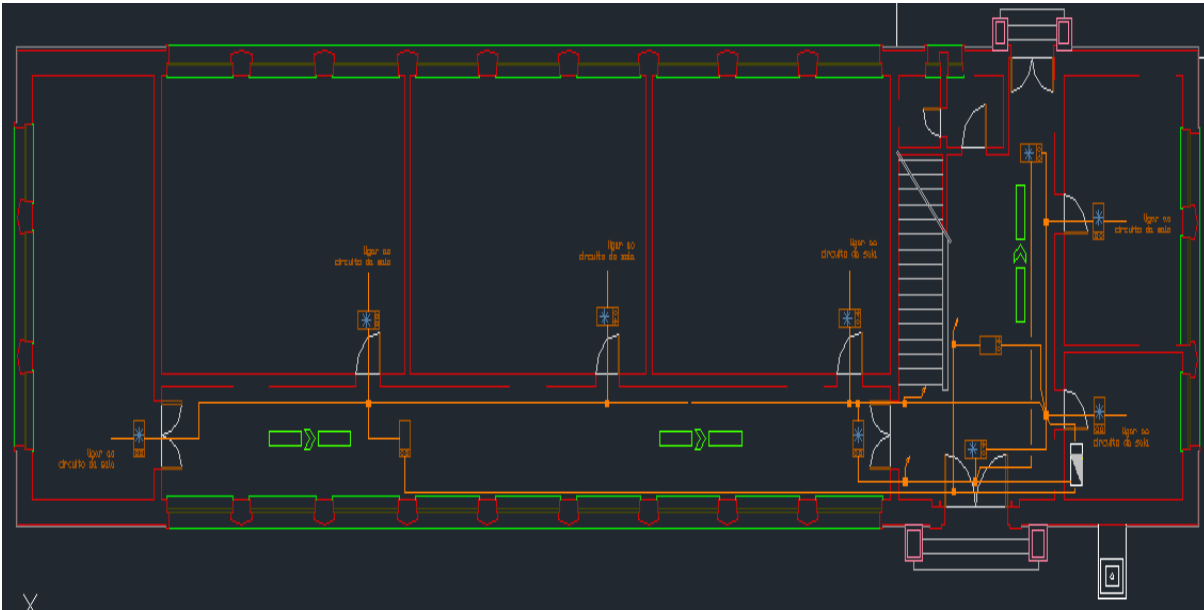


Figura 3. 17 – Iluminação de Segurança e Caminhos de Evacuação R/C Ala Nascente.

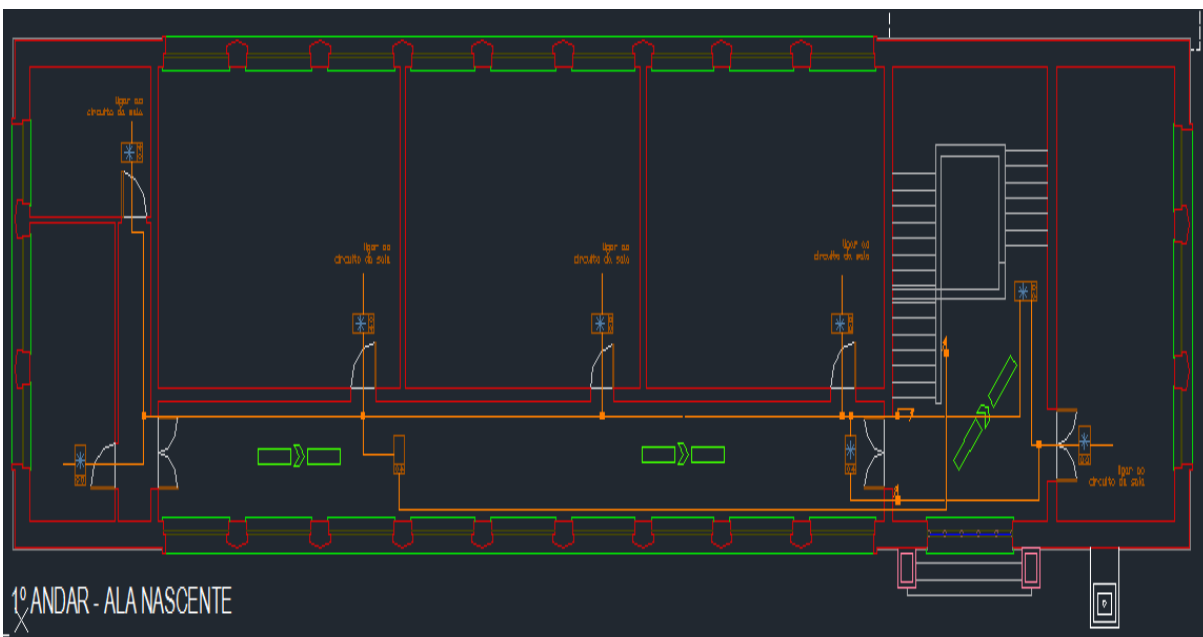


Figura 3. 18 – Iluminação de Segurança e Caminhos de Evacuação 1ºAndar Ala Nascente.

Iluminação de segurança do tipo A

Este tipo de iluminação é garantido através de uma bateria de acumuladores ou então de um grupo gerador a combustão. Neste tipo de iluminação, as lâmpadas de emergência estão permanentemente acesas. Neste projeto da escola em concreto, não está prevista este tipo de iluminação de socorro, uma vez que esta escola é considerada de 3ª categoria de acordo com as Regras Técnicas.

Iluminação de segurança do tipo B

A iluminação do tipo B é muito semelhante à do tipo A. Difere apenas na utilização de blocos autónomos. Tal como a anterior, este tipo de iluminação não está prevista neste projeto.

Iluminação de segurança do tipo C

A iluminação do tipo C pode ser assegurada também por uma bateria de acumuladores, por um motor de combustão ou por blocos autónomos. Aqui a diferença para os anteriores, é que a iluminação pode ser permanente ou não permanente, podendo assim as lâmpadas serem alimentadas pela rede, ou pela fonte de segurança ou estarem simplesmente desligadas. Neste projeto é contemplado este tipo de iluminação.

Iluminação de segurança do tipo D

Este tipo de iluminação é assegurado por lanternas que devem estar à disposição do pessoal responsável pela segurança da escola. Estas lanternas podem ser alimentadas a pilhas ou terem bateria recarregável. Está previsto este tipo de iluminação junto ao PT e ao Quadro Geral.

3.4.2. Condições Específicas

Iluminação Segurança Ambiente:

- Não permanentes, com sinalização de 8 W (sinalização feita com led's de alta luminosidade e iluminação de segurança com tubo fluorescente de 8 W);
- Os led's de sinalização são de longa duração e de cor âmbar;
- Alimentação: 230 V ;
- IP 65 ;
- Tempo de carga 24 horas;
- Classe II de Isolamento;
- Aptos para instalação sobre superfícies inflamáveis;
- Invólucro auto extingüível e reciclável;
- Acumuladores de Ni Cd de alta temperatura.

- Montagem poderá ser feita à face da parede, encastrada ou semi-encastrada em pladur ou teto falso com recurso a acessório próprio;
- Montagem em suspensão ou bandeira com blocos duplos, difusor dupla face;
- Fluorescente, não permanente.

Iluminação Segurança Circulação\Saída:

- Permanentes, com sinalização de 8 W (sinalização feita com led's de alta luminosidade e iluminação de segurança com tubo fluorescente de 8 W);
- Os led's de sinalização são de longa duração e de cor âmbar;
- Alimentação: 230 V ;
- IP 65;
- Invólucro auto extingüível e reciclável;
- Proteção de rede por dispositivo eletrónico automático;

Serão instalados blocos autónomos e Kit's de emergência com uma autonomia de 1 hora e de características técnicas conforme a Norma NP EN 60598-2-22 [9]. Os blocos não devem ser colocados a menos de 2 metros do solo. Se forem embutidos recomenda-se que a sua altura de montagem seja superior a 2,25 metros. Se forem salientes não devem constituir um obstáculo à circulação e recomenda-se que a sua face inferior seja colocada a uma altura superior a 2,25 metros.

3.5. Quadros elétricos

3.5.1. Condições Genéricas

Os quadros elétricos serão localizados no mesmo local onde já permaneciam, por forma a facilitar a instalação no coletivo. De acordo com as peças desenhadas, estes estarão numa extremidade de cada bloco. O ideal seria estarem localizados no centro das cargas a alimentar, mas como o edifício não é novo, tal não é possível.

Os quadros elétricos serão dum modo geral em painel para montagem dentro de compartimento próprio, sendo alguns para encastrar em nicho nas paredes onde não seja possível criar um armário para o alojar no seu interior, como é o caso dos existentes. Sempre que possível, aconselha-se a total substituição do antigo.

Para garantir a segurança das pessoas contra contactos indirectos, os cabos entrarão e sairão do corpo dos quadros através de buçins, para evitar qualquer contacto inadvertido com

alguma parte ativa dos cabos. Acresce ainda que todos os quadros serão da classe II de isolamento

Os quadros dispõem de toda a aparelhagem de comando e proteção, tal como interruptores e disjuntores diferenciais, disjuntores eletromagnéticos, contactores, interruptores de quadro, sinalizadores de presença de rede, transformadores, descarregadores de sobretensões (efeitos secundários das descargas atmosféricas) e analisadores de rede. Os analisadores de rede terão como finalidade, averiguar os parâmetros da corrente elétrica, nomeadamente na verificação de fenómenos de poluição harmónica, decorrentes da cada vez maior utilização de cargas não lineares, permitindo avaliar a situação com vista à tomada de decisão futura quanto às medidas de correção da forma da onda.

Os quadros serão da classe II de isolamento e terão IP e IK adequados aos locais onde serão instalados e serão sectorizados de acordo com os circuitos a alimentar.

A proteção das pessoas contra contactos diretos será garantida pela instalação de materiais e equipamentos em que os componentes condutores não são acessíveis, isto é, têm sempre isolamento nas partes acessíveis.

A proteção contra contactos indiretos será assegurada regra geral pela utilização de aparelhos sensíveis à corrente diferencial residual e ligação de todas as massas à terra.

Os disjuntores terão curva de disparo do tipo C (Figura 3.19), como regra geral.

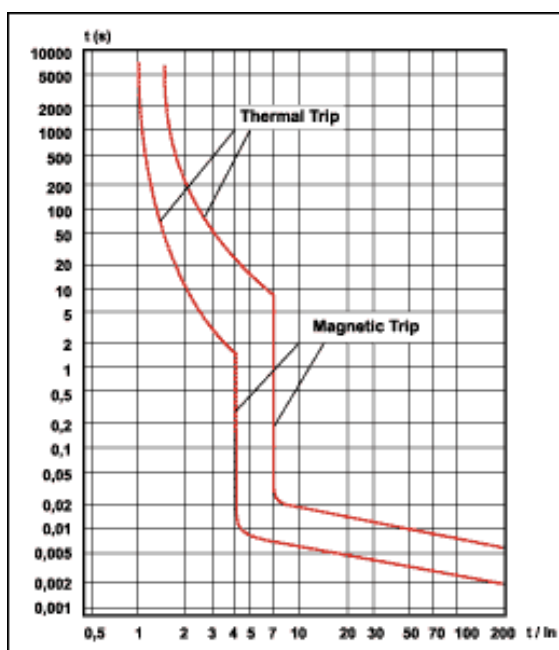


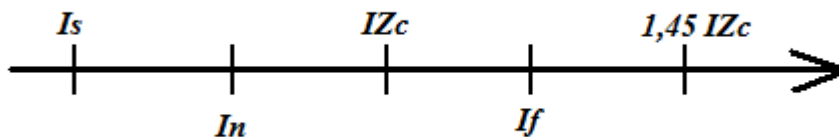
Figura 3. 19 – Exemplo da curva disparo tipo C.

Serão os disjuntores de curva C os utilizados, uma vez que são os mais indicados para as cargas médias, como sejam as lâmpadas fluorescentes, por exemplo. Estes disjuntores atuam entre cinco a dez vezes a corrente nominal.

3.5.2. Cálculos Justificativos

Como já referido, os circuitos dos quadros estão divididos por forma a que cada sala de aula tenha pelo menos dois circuitos de iluminação.

Os cálculos a seguir enumerados referem-se ao cálculo das correntes de serviço e à escolha da respetiva proteção.



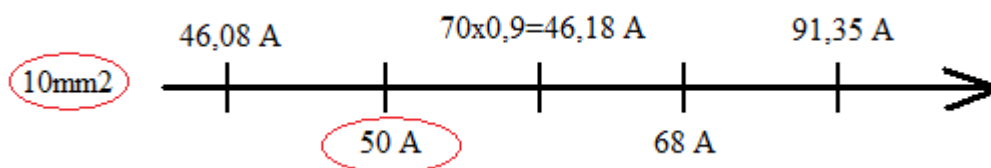
- **Bloco Poente:**

Q9

$$I_{tom1f} = 7 \times 16 \times F_u \Leftrightarrow I_{tom1f} = 7 \times 16 \times (0,1 + 0,9/7) = 25,6 \text{ [A]} \quad (1)$$

$$I_{Q9} = 2 \times I_{tom1f} \times F_s \Leftrightarrow I_{Q9} = 2 \times 25,6 \times 0,9 = 46,08 \text{ [A]} \quad (2)$$

Método C: $I_{Q9} = 46,08 \text{ A}$; $I_z = 70 \text{ A}$; 10 mm^2



Q10

$$I_{tom1f} = 4 \times 16 \times F_u \Leftrightarrow I_{tom1f} = 4 \times 16 \times (0,1 + 0,9/4) = 20,8 \text{ [A]} \quad (3)$$

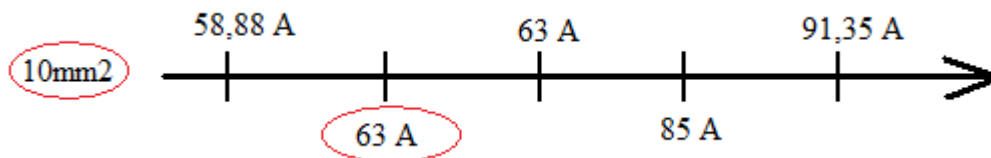
$$I_{tom1f} = 1 \times 16 \times F_u \Leftrightarrow I_{tom1f} = 1 \times 16 \times (0,1 + 0,9/1) = 16 \text{ [A]} \quad (4)$$

$$I_{tom1f} = 3 \times 16 \times F_u \Leftrightarrow I_{tom1f} = 3 \times 16 \times (0,1 + 0,9/3) = 19,2 \text{ [A]} \quad (5)$$

$$I_{tom1f} = 2 \times 16 \times F_u \Leftrightarrow I_{tom1f} = 2 \times 16 \times (0,1 + 0,9/2) = 17,6 \text{ [A]} \quad (6)$$

$$I_{Q10} = (20,8 + 16 + 19,2 + 17,6) \times 0,8 = 58,88 \text{ [A]} \quad (7)$$

Método C: $I_{Q10} = 58,88 \text{ A}$; $I_z = 70 \text{ A}$; 10 mm^2



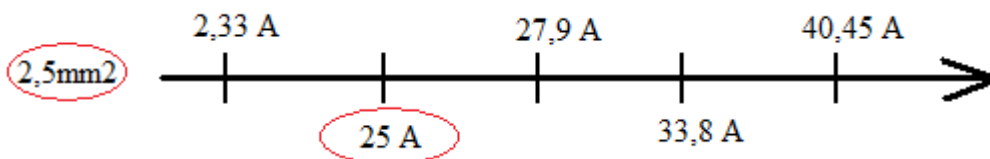
Q6

$$IL1 = \frac{6 \cdot 36}{230 \cdot 0,85} = 1,10 \text{ [A]} \quad (8)$$

A	B	C
1,10	0,55	0,55
0,73	0,55	1,10
0,5	0,2	

2,33

Método C: IQ6=2,33 A; Iz=31 A; 2,5mm²



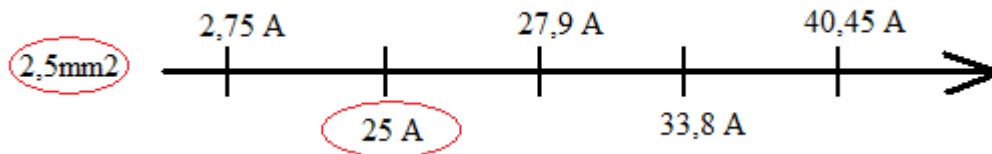
Q7

$$IL1 = \frac{8 \cdot 36}{230 \cdot 0,85} = 1,47 \text{ [A]} \quad (9)$$

A	B	C
1,47	1,28	1,47
1,28		

2,75

Método C: IQ7=2,75 A; Iz=31 A; 2,5mm²



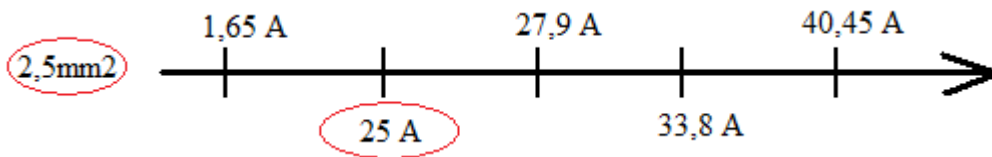
Q8

$$IL1 = \frac{9 \cdot 36}{230 \cdot 0,85} = 1,65 \text{ [A]} \quad (10)$$

A	B	C
1,65	1,65	1,10

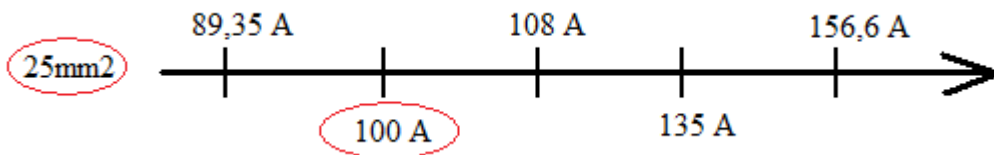
1,65

Método C: IQ8=1,65 A; Iz=31 A; 2,5mm²



$$IQP \text{ Poente} = (46,08 + 58,88 + 2,33 + 2,75 + 1,65) \times 0,8 = 89,35 \text{ [A]} \quad (11)$$

Método C: Iz(25mm²)=120 A



• **Bloco Nascente:**

- Q3=Q8 ----- IQ3= 1,65 A
- Q2=Q7 ----- IQ2= 1,47 A
- Q4=Q9 ----- IQ4= 46,08 A

Q5

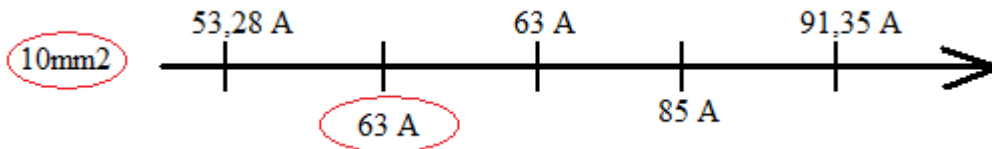
$$I_{tom1f} = 1 \times 16 \times F_u \Leftrightarrow I_{tom1f} = 1 \times 16 \times (0,1 + 0,9/1) = 16 \text{ [A]} \quad (12)$$

$$I_{\text{om1f}}=5 \times 16 \times F_u \Leftrightarrow I_{\text{om1f}}=5 \times 16 \times (0,1+0,9/5)=22,4 \text{ [A]} \quad (13)$$

$$I_{\text{om1f}}=4 \times 16 \times F_u \Leftrightarrow I_{\text{om1f}}=4 \times 16 \times (0,1+0,9/4)=20,8 \text{ [A]} \quad (14)$$

$$I_{Q5}=(16+ 22,4+ 20,8) \times 0,9 = 53,28 \quad (15)$$

Método C: $I_{Q5}= 53,38 \text{ A}$; $I_z=70 \text{ A}$; 10mm^2



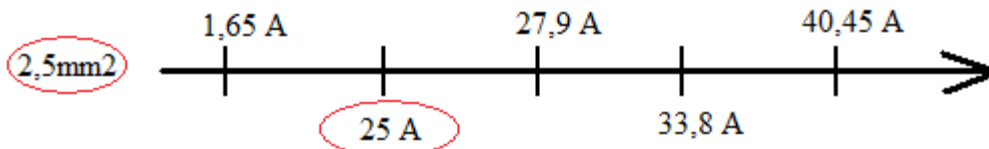
Q1

$$I_{L1} = \frac{3 \times 36}{230 \times 0,85} = 0,55 \text{ [A]} \quad (16)$$

A	B	C
0,55	0,55	0,92
0,55	1,10	0,5
0,2		

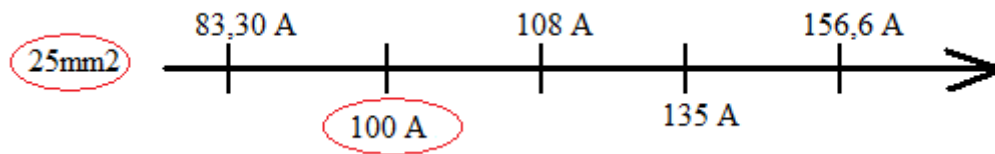
1,65

Método C: $I_{Q1}=1,65 \text{ A}$; $I_z=31 \text{ A}$; $2,5\text{mm}^2$



$$I_{QP \text{ Nascente}} = (1,65+ 1,47+ 1,65+ 46,08+ 53,28) \times 0,8 = 83,30 \text{ [A]} \quad (17)$$

Método C: $I_z(25\text{mm}^2)=120 \text{ A}$



- **GERAL**

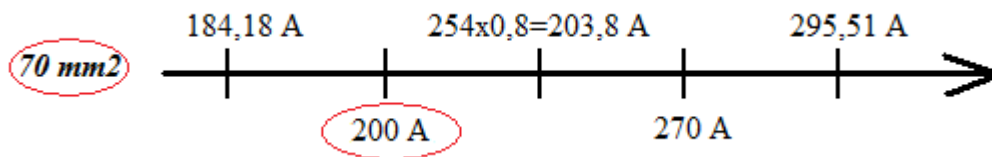
A corrente total é dada pela equação:

$$I_{QG} = (83,30 + 89,35 + 32) \times 0,9 = 184,18 \text{ [A]}$$

(18)

Método D (cabos monocondutores de cobre isolados a XLPE em condutas enterradas)

$$I_{QG} = 184,18 \text{ A}; I_z = 254 \text{ A}; 70 \text{ mm}^2$$



Os quadros existentes têm o aspeto apresentado na Figura 3.20. É de notar alguma falta de segurança bem como se nota a facilidade de acesso aos elementos que compõem o quadro. Por seu lado, o acesso ao quadro torna-se bastante difícil devido a barreiras que os utilizadores do edifício colocaram no local. Por essa razão é que se aconselha à colocação de um quadro do tipo bastidor, com as características enunciadas anteriormente.



Figura 3. 20 – Exemplo de quadro atual das instalações.

3.6. Equipamentos e materiais

3.6.1. Luminárias

As luminárias listadas de seguida servem apenas de referência para uma futura aplicação e foram as que serviram de base para elaborar as peças desenhadas. As que foram simuladas neste projeto são equivalentes às listadas, no que toca às salas de aula.

A1 – armadura estanque 2x49W ref:"alo 01 249 be" da "eee", ou equivalente;

A3 - aplique de parede "chip 30 ", 5821, "prisma" ou equivalente;

A4 - armadura estanque 2x38W ref:"mhpd 05 236" da "eee", ou equivalente;

A6 - armadura saliente 2x58W/tld/58W/84, tipo "clb" da "eee", ou equivalente

A7 - aplique de parede "chip 25 ", 5740, "prisma" ou equivalente;

A8 - armadura parede/quadro 1x36W/tld/36W/84, ref:"qal 02 136" ou ref:"quadro 02 136" da "eee", ou equivalente;

A9 - armadura saliente 1x54W/tld/54W/84, ref:"jatb 01 154 be" da "eee", ou equivalente;

A10 - armadura saliente classe 1 1x54W/tld/54W/84, ref:"ctx 01 154 be" da "eee", ou equivalente;

3.6.2. Detetor de Movimento/Luminosidade

Detetor de movimento com corpo em poliéster reforçado com fibra de vidro para montagem encastrada ou saliente que incorpora internamente um interruptor de capacidade até 10 A.

Dispõe também de uma célula fotelétrica, que inibe o detetor quando o nível de luz medido é superior ao nível de referência pré fixado no detetor. A célula pode ser ajustada entre 10 e 1000 Lux. Este detetor ativa o circuito de iluminação da divisão por deteção de movimento, mantendo o circuito ativo com regulação de 1 a 30 minutos e por leitura do nível da iluminação natural dos espaços, fará a regulação de fluxo das luminárias.

Será utilizado essencialmente nos circuitos das casas de banho exteriores, onde ocorre maior utilização do espaço, e por conseguinte, não havia comando da luminária existente, estando esta ligada grande parte do dia, sem a divisão estar a ser utilizada. O modelo de referência do equipamento a ser instalado será o sistema *ActiLume* da *Philips*, ou equivalente.

3.6.3. Caixas

Nas instalações embebidas, as caixas de aparelhagem, passagem e derivação, serão de baquelite, parede reforçada com tampa de baquelite, cor creme fixas por meio de parafusos de latão cromado.

Nas instalações à vista as caixas de passagem e derivação, serão de baquelite de parede reforçada com tampa de baquelite cor creme e estanques.

As caixas de passagem e derivação serão sempre que possível agrupadas em conjuntos verticais com tampa única, como é o caso das caixas presentes nas salas de aula e gabinetes.

As caixas de derivação dos circuitos de iluminação, tomadas e força motriz, possuirão borne para ligação de fio de terra.

As dimensões mínimas interiores das caixas de aparelhagem, passagem e derivação para cada circuito, serão de:

<i>caixa para ligação de equipamento</i>	<i>40 mm Ø</i>
<i>caixa de aparelhagem</i>	<i>60 mm Ø</i>
<i>caixa de passagem</i>	<i>180 x 180 x 50mm</i>

<i>caixa de derivação</i>	<i>80 x 80mm</i>
<i>caixa terminal</i>	<i>100 x100mm</i>

3.6.4. Condutores

Os condutores para os circuitos de iluminação, tomadas e alimentadores de equipamento são do tipo HIVV-U (com isolamento termoplástico), nas cores convencionais, ou equivalente.

Os condutores serão identificados pelas respetivas cores de isolamento, que são as seguintes:

- Condutor de fase.....preto e castanho;
- Condutor de neutro.....azul claro;
- Condutor de proteção.....verde/amarelo.

As secções dos condutores nos circuitos gerais nunca serão inferiores a 1,5 e 2,5mm², respetivamente para iluminação e tomadas.

3.6.5. Disjuntores

Os circuitos serão protegidos a partir dos respetivos quadros por disjuntores unipolares e tripolares, calibrados em função das secções a proteger e da seletividade necessária em relação às proteções instaladas a montante (ver Figura 3.21).

Serão também usados interruptores de corte omnipolar do tipo sensível à corrente diferencial residual, de média e alta sensibilidade de 300 e 30 mA, conforme as peças desenhadas, que permitem além da proteção das pessoas, assegurar a proteção contra defeito nas instalações elétricas.



Figura 3. 21 – Exemplo de um disjuntor com curva de disparo tipo C.

3.7. Classificação dos locais

Num projeto deste tipo é primordial proceder à classificação das influências externas de cada local constituinte do edifício. Na escolha dos diversos equipamentos e materiais teve-se em conta essa mesma classificação, por forma a haver um bom funcionamento dos mesmos com a maior fiabilidade e segurança possível.

Também se torna importante classificar todo o edifício no que toca à sua lotação.

3.7.1. Código IP

O código IP, índice de proteção, quantifica a capacidade que determinado objeto tem contra a penetração de corpos sólidos e líquidos no seu interior. Este código é constituído por dois dígitos, sendo que o primeiro dígito se refere ao grau de proteção contra corpos sólidos, e varia entre 0 e 6, e o segundo dígito identifica o grau de proteção contra a penetração de líquidos, e varia entre 0 e 8.

Estes valores estão definidos na Tabela 3.1, retirada da Norma EN 60529 [10].

Tabela 3. 1 – Índices de proteção código IP.

Proteção contra sólidos	Proteção contra líquidos
0 – sem proteção	0 – sem proteção
1 – proteção contra corpos diâmetro $\geq 50\text{mm}$	1 - Proteção contra gotas de água caindo na vertical
2 – proteção contra corpos diâmetro $\geq 12\text{mm}$	2 - Proteção contra gotas de água caindo obliquamente
3 – proteção contra corpos diâmetro $\geq 2,5\text{mm}$	3 - Proteção contra água pulverizada
4 – proteção contra corpos granulados diâmetro $\geq 1\text{mm}$	4 - Proteção contra salpicos de água
5 – proteção contra acumulação de pó	5 - Proteção contra jactos de água
6 – proteção contra penetração de pó	6 - Proteção contra inundação
-----	7 – Proteção para imersão
-----	8 - Proteção para submersão

3.7.2. Código IK

O código IK define o índice de proteção contra choques mecânicos externos. Cada código IK corresponde a um valor em Joule que determinado equipamento consegue suportar, sem alterar as suas características.

Estes valores estão definidos na Tabela 3.2, segundo a norma EN 50102 [11].

Tabela 3. 2 – Índice IK.

IK	Energia de Impacto um Joule	Massa utilizada kg
00	0	0
01	0,15	0,2
02	0,20	0,2
03	0,35	0,2
04	0,50	0,2
05	0,70	0,2
06	1	0,5
07	2	0,5
08	5	1,7
09	10	5
10	20	5

3.7.3. Estabelecimentos Recebendo Público

De acordo com a secção 801.2 das RTIEBT, que se refere aos estabelecimentos recebendo público, esta secção classifica estes estabelecimentos em função da sua lotação. Esta classificação está patente na subsecção 801.2.0.1, de acordo com a Tabela 3.3.

Tabela 3. 3 – Classificação dos edifícios de acordo com a lotação.

Categoria	Lotação (N)
1ª	$N > 1000$
2ª	$500 < N \leq 1000$
3ª	$200 < N \leq 500$
4ª	$50 < N \leq 200$
5ª	$N \leq 50$

3.7.4. Proteção Contra Descargas Atmosféricas

Na cobertura de cada bloco existem três para-raios para proteção contra descargas atmosféricas. Apesar do edifício se encontrar no meio de estruturas mais altas, é aconselhável manter o sistema de para-raios.

A solução que poderá ser adotada para este caso assenta na proteção da estrutura através da implementação de um para-raios IONIFLASH. Os para-raios e o mastro serão em aço inox, pois este apresenta níveis superiores em termos de resistência à corrosão, e serão fixados á estrutura através de fixações adequadas.

As baixadas do para-raios serão realizadas em fita em cobre estanhado, as fixações das baixadas serão fixações plásticas com base roscada.

Será utilizado um ligador amovível da baixada (a ser utilizado para medições de terra), e uma proteção das baixadas a três metros, com colocação de placa sinalizadora de “terra de para-raios” conforme norma NP 4426. [12]

As baixadas do para-raios serão ligadas ao sistema de terras existente, devendo garantir-se que estas apresentam um valor de terra inferior a 10 Ohm (segundo NP4426) [13].

3.8. Redes de Terras

A rede de “terras” assume uma grande importância nas instalações elétricas [14], pois um sistema de terras eficaz aumenta a fiabilidade dos equipamentos e permite a proteção de pessoas no que diz respeito às correntes de fuga. Neste contexto é necessário projetar a rede de terra de qualidade e que deem garantias de durabilidade a médio e longo prazo.

Como já referido, este projeto é uma remodelação de uma instalação já existente, portanto a rede de terras já existe, tendo o aspeto da Figura 3.22, no caso mais generalista.

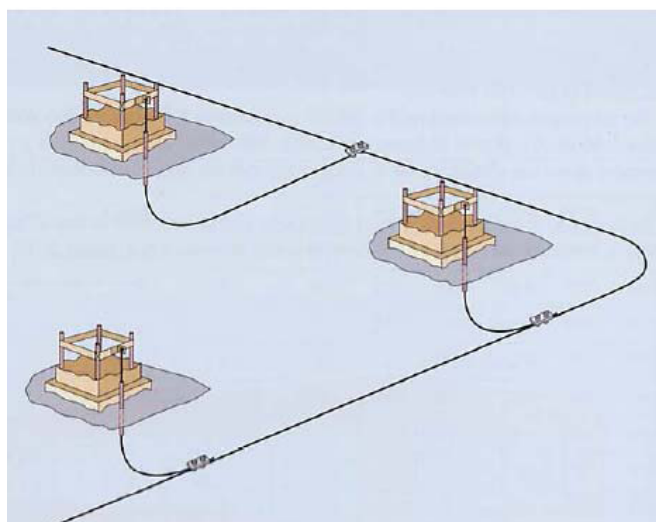


Figura 3. 22 – Exemplo de uma ligação à terra em anel.

A ligação do condutor de proteção proveniente do quadro geral do edifício (entrada) ao eletrodo de terra, será feita através de ligador próprio por aperto mecânico. Estes serão substituídos por uns novos.

Nos locais em que se utilizem equipamentos com massas metálicas na envolvente estas serão ligadas ao circuito de proteção, para que se estabeleça a equipotencialização dessas massas, nomeadamente tampos de bancadas em aço inox, equipamentos das instalações sanitárias metálicas, etc.

Com um sistema destes, sempre que ocorra um aumento de potencial da terra, por exemplo pelo efeito duma descarga atmosférica, nada de mal ocorrerá na instalação porque todas as “terras” ficarão ao mesmo potencial (potencial de referência), pelo que a tensão a que os equipamentos ficam sujeitos será sempre de 230V/400V.

Só assim se conseguirá uma boa segurança das instalações e equipamentos, porque ficam reduzidas as possibilidades de correntes de circulação devido a diferença de potencial entre eletrodos de terra, que mesmo de baixo valor podem destruir os atuais equipamentos à base de circuitos eletrónicos.

4. ANÁLISE DO PROJETO DE ILUMINAÇÃO

No presente projeto optou-se por manter a organização das luminárias existentes (ver figuras 4.1 e 4.2). Tentou-se escolher luminárias simples em termos estéticos, mas modernas. Procurou-se escolher equipamento que existisse em Portugal. Optou-se por luminárias com balastro eletrónico, por serem mais eficientes que as de balastro convencional, lâmpadas fluorescentes ou de LEDs, e fez-se a análise com luminárias de lâmpadas simples ou duplas, para ver a diferença em termos de eficiência.

Usou-se sempre equipamento apontado pela literatura como sendo o mais indicado para estabelecimentos de ensino (salas de aula e quadros).



Figura 4. 1 – Luminárias atuais das salas de aula.



Figura 4. 2 – Luminária exterior.

Tentou respeitar-se ao máximo o recomendado em termos de legislação, que são 500 lux para salas de aula, salas de reunião, bibliotecas, tendo como base o Manual de Projeto de Instalações Técnicas da Parque Escolar [15]. No entanto, e conforme diferenças em diversas literaturas, os projetos foram elaborados com base em iluminâncias entre 300 lux e 500 lux.

De acordo com o mesmo documento, para zonas de circulação, são recomendados níveis de iluminação na ordem dos 100 lux para corredores, 150 lux para escadas e 200 lux para entradas/recepção.

Como o objeto de estudo deste projeto assenta essencialmente nas salas de aula, estes espaços não foram contemplados no estudo, mas por razões óbvias, também serão objeto de intervenção, tal como descrito nas peças desenhadas. A diferença para as salas de aula, e para atingir níveis mais baixos de iluminação, serão usadas lâmpadas de baixa potência, na ordem dos 25W\36W, conforme o modelo escolhido. Claro que o modelo que for escolhido para as salas de aula, será também o mesmo aplicado nas restantes zonas, com a diferença do tipo de lâmpada que será de potência menor, para cumprir os níveis de iluminância recomendados. As luminárias serão também equipadas com balastro eletrónico, refletor plano em alumínio e terão um rendimento nunca inferior a 80%.

As nomenclaturas usadas para os sistemas óticos das luminárias são os mesmos utilizados nos catálogos da marca. Por forma a entender a que cada código se refere, no próprio catálogo existe a denominação de cada código. Neste projeto em concreto usaram-se refletores HFP PC-MLO, HFP-C8, HFE-M5, HFP C5-H GT, HFP C8-VH. Sendo HFP e HFE o tipo de balastro eletrónico. O sistema HFP PC-MLO é composto por Ótica OLC de microprismas cónicos de policarbonato, o sistema C8 por Ótica OLC de micro-lamelas tridimensionais de alumínio de alta qualidade com acabamento de alto brilho e o C8-VH por Ótica OLC de micro-lamelas tridimensionais de alumínio de alta qualidade e muito alta refletância com acabamento de alto brilho com máximo rendimento luminoso. O sistema OLC é um sistema ótico patenteado pela Philips de “Controlo de luminância omnidirecional”. As lamelas de perfil tridimensional melhoram a distribuição da luz, reduz o encandeamento em todas as direções e aumentam a eficiência luminosa global.

Teve-se em conta também os fatores de reflexão associados a paredes, tetos, materiais da divisão, etc. Quando não eram conhecidos, usou-se como referência os valores descritos na Tabela 4.1.

Tabela 4. 1 – Exemplos de fatores de reflexão de objetos.

LOCAL	FATOR	COR
Teto	0,8 a 0,9	branco
Parede	0,4 a 0,6	clara
Chão	0,2 a 0,4	escuro
Plano de trabalho	0,9	branco

Para a mesma cor, o fator de reflexão dos tetos é sempre maior que o fator de reflexão das paredes. Isto porque nas paredes existem portas, janelas e diverso mobiliário que têm um fator de reflexão baixo.

Há a considerar também o fator de manutenção que tem a ver com a diminuição do rendimento das luminárias e lâmpadas com o avançar do tempo. A Tabela 4.2 mostra os valores a ter em conta normalmente.

Tabela 4. 2 – Fatores de Manutenção.

Nível	Fator de manutenção
Normal	0,8
Baixo	0,7
Muito baixo	0,6

O software luminotécnico usado neste projeto foi o *Dialux*, sendo um software livre e que permite a simulação recorrendo a luminárias de diversos fabricantes. Neste projeto foram simuladas apenas luminárias e lâmpadas da *Philips*, por ser uma marca que se encontra facilmente em Portugal. Assim, foi usado um *Plug-in* da *Philips* para o *Dialux*, que permite ao projetista escolher e ver características de uma série de luminárias que a empresa comercializa.

Foram simulados quatro projetos, havendo um deles que foi simulado com lâmpada fluorescente tubular e com lâmpada LED.

4.1. Projeto A

Referência: Philips Celino TCS e TWS (ver Figura 4.3);

Sala de aula: 6 luminárias TCS 2xTL5 40W cada;

Quadro: 3 luminárias TWS 1xTL5 20W cada;

Fatores de Reflexão: Teto 70%, Parede 50%, Chão 20%;

Fator de manutenção: 80%.



Figura 4. 3 – Primeira luminária usada no projeto A.

Com este tipo de luminária não se consegue obter os níveis de iluminação recomendados, que seriam 500 lux (ver Figura 4.4).

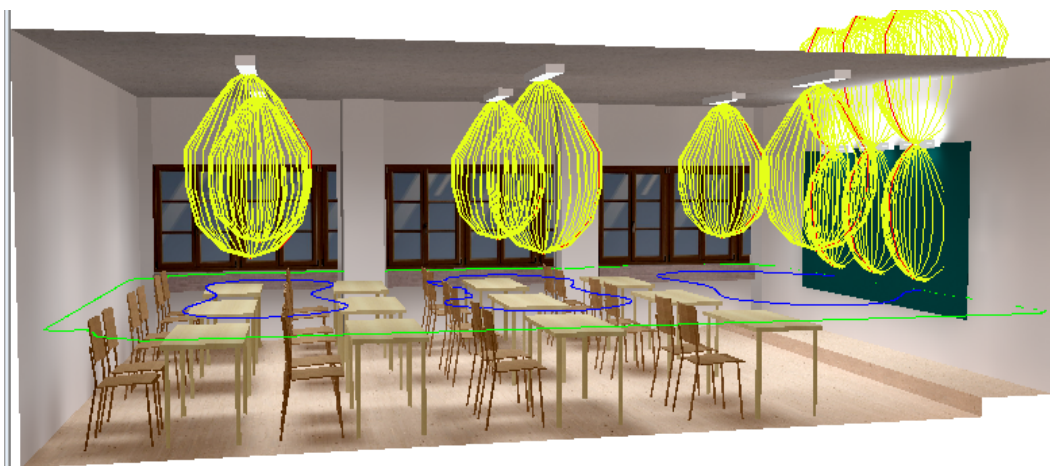


Figura 4. 4 – Simulação em Dialux da Philips Celino TCS 2xTL5 40W.

Optou-se então por simular com a luminária TCS 2xTL5 (ver Figura 4.5) de 49W cada, com outro tipo de refletor. Os resultados foram completamente diferentes. A iluminância média situou-se nos 600 lux no plano de uso, a potência específica obtida foi de $14,74 \text{ W/m}^2$ (ver Figura 4.6).



Figura 4. 5 – Segunda luminária usada no projeto A.

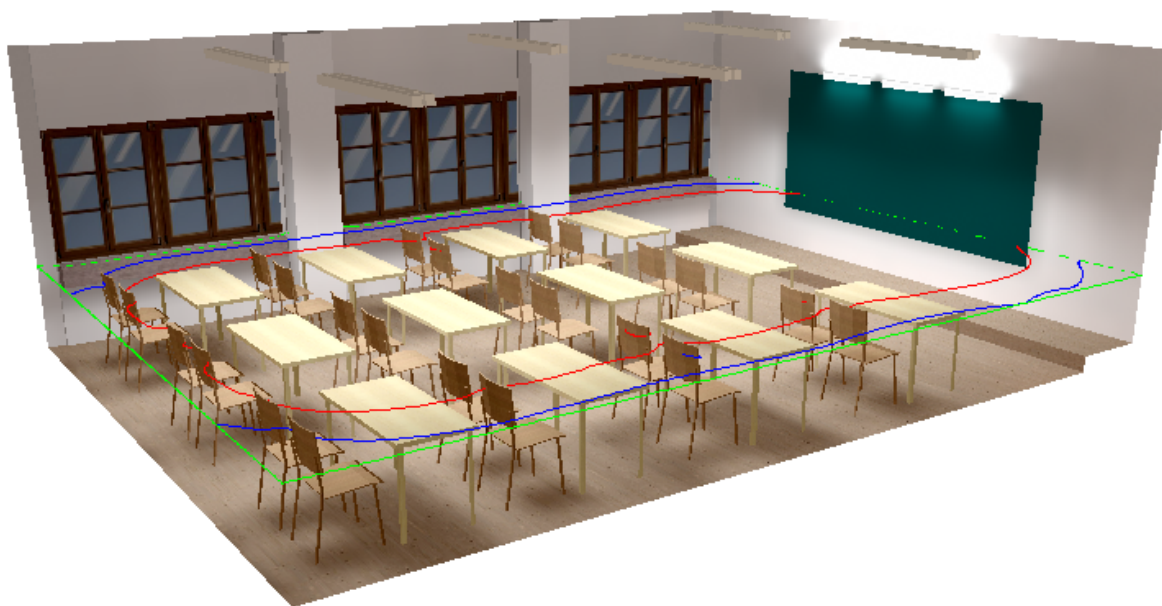


Figura 4. 6 – Simulação em Dialux com Philips Celino TCS 2xTL5 49W, com outro refletor.

Assim, e por forma a reduzir a iluminância média para um nível mais aceitável, fez-se a simulação com a mesma luminária, com a mesma potência de lâmpada, mas em vez de serem duas lâmpadas, será mono-lâmpada (ver Figura 4.7).



Figura 4. 7 – Segunda luminária usada no projeto A.

Os resultados obtidos na simulação são apresentados na Figura 4.8. Neste caso a iluminância média é de 340 lux no plano de uso e a potência específica obtida foi de 8,23 W/m². O que se conclui que o aumento da potência para o escalão seguinte, 54W, seria provável que os valores recomendados fossem ultrapassados, e que provavelmente essa potência já não compensará devido aos custos inerentes. No entanto é de notar que o tipo de difusor e o tipo de vidro da luminária influencia bastante os valores.



Figura 4. 8 – Simulação em Dialux com Philips Celino mono-lâmpada.

4.2. Projeto B

Referência Sala de Aula: 6x Philips Celino TBH318 2xTL-D36W HFE M5 (ver Figura 4.9)

Referência Quadro: 3 x Philips Celino BCS680 W7L122 1xLED24/840 LIN-PC

Fatores de Reflexão: Teto 70%, Parede 50%, Chão 20%;

Fator de manutenção: 80%.

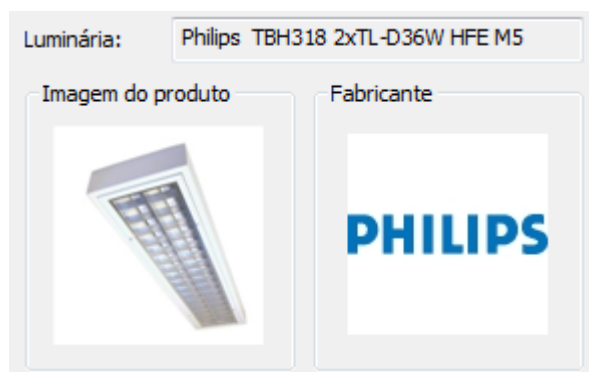


Figura 4. 9 – Primeira luminária usada no projeto B.

O resultado da simulação é apresentado na Figura 4.10. Nesta simulação a iluminância média atinge 311 lux. A potência específica obtida neste caso foi de cerca de $2\text{W}/\text{m}^2$.



Figura 4. 10 – Simulação em Dialux com Philips Celino TBH318 e Celino BCS680 W7L122.

Fez-se uma nova simulação com outra luminária do mesmo género, e com lâmpada com potência mais alta, mas desta vez com 16mm de diâmetro (T5). A luminária do quadro manteve-se, e esta tem uma lâmpada LED de 24W de potência.

Referência Sala de Aula: 6 x Philips Celino TBH424 2xTL5 49W HFP C5-H GT (ver Figura 4.11).

Referência Quadro: 3 x Philips Celino BCS680 W7L122 1xLED24/840 LIN-PC



Figura 4. 11 – Segunda luminária usada no projeto B.

Nesta simulação, cujos resultados são apresentados na Figura 4.12, consegue-se uma iluminância média bastante alta, cerca de 798 lux, com uma potência específica de 14,80 W/m².

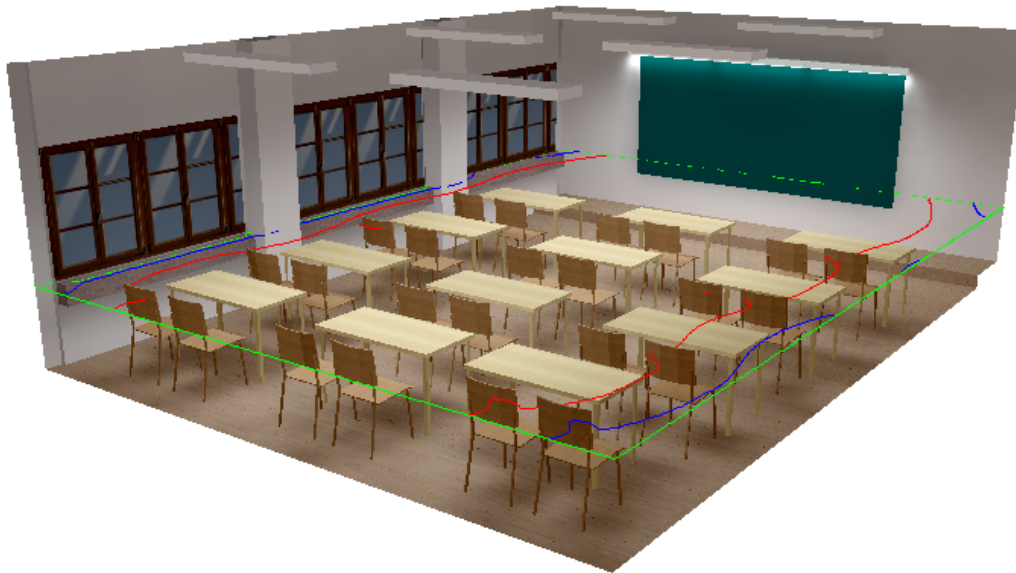


Figura 4. 12 – Simulação em Dialux com Philips Celino TBH424 2xTL5 Philips Celino BCS680 W7L122.

Fez-se, ainda, mais uma simulação usando o modelo imediatamente abaixo, ou seja, com 35W, e já se conseguiu uma iluminância média na ordem dos 620 lux, ainda assim algo elevada.

Simulou-se então com lâmpada dupla de 28W (ver Figura 4.13). Nesta simulação, cujo resultado é apresentado na Figura 4.14, obteve-se uma iluminância média de 505 lux e potência específica de 9,15 W/m². Neste caso, devido ao tipo de luminária, para aproximar os resultados aos recomendados, torna-se importante olhar apenas ao tipo de lâmpada, sendo que

como ficou provado, a de baixa potência é mais indicada do que a de potências altas, ao contrário do que aconteceu nas outras simulações.



Figura 4. 13 – Terceira luminária usada no projeto B.

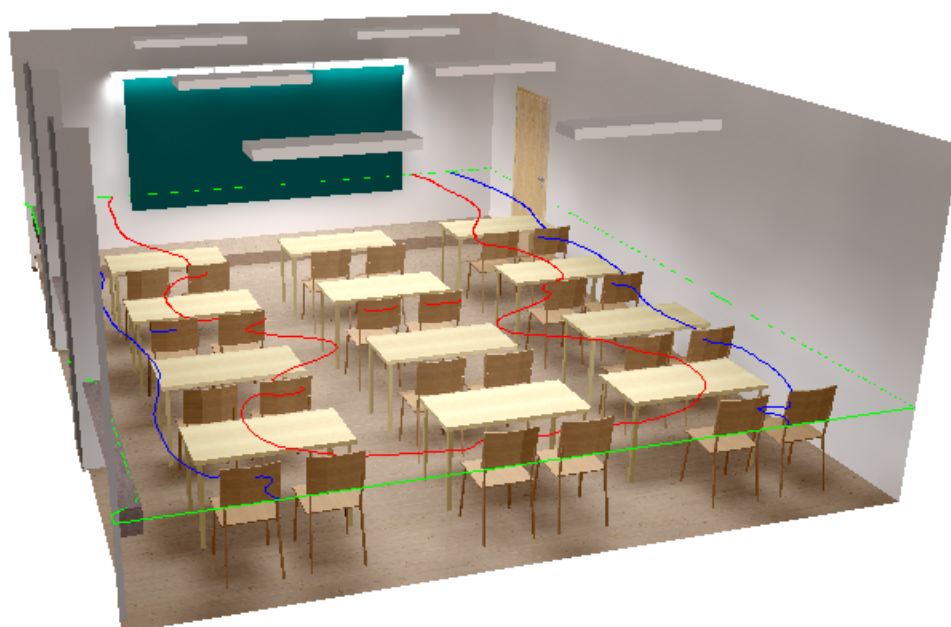


Figura 4. 14 – Simulação em Dialux com Philips Celino TBH424 2xTL5 28W HFP C5-H GT.

4.3. Projeto C

Referência Sala de Aula: Philips Smartform TCS460 2xTL5-45W HFP C8-VH (ver Figura 4.15)

Referência Quadro: Philips Smartform TWS462 1xTL5-50W HFP MLO PC

Fatores de Reflexão: Teto 50%, Paredes 50%, Chão 20%

Fator de Manutenção: 80%.



Figura 4. 15 – Primeira luminária usada no projeto C.

O resultado obtido nesta primeira simulação no Projeto C é apresentado na Figura 4.16. Nesta simulação, a iluminância média atingida foi 472 lux no plano de trabalho. A potência específica obtida foi de 14,57 W/m².

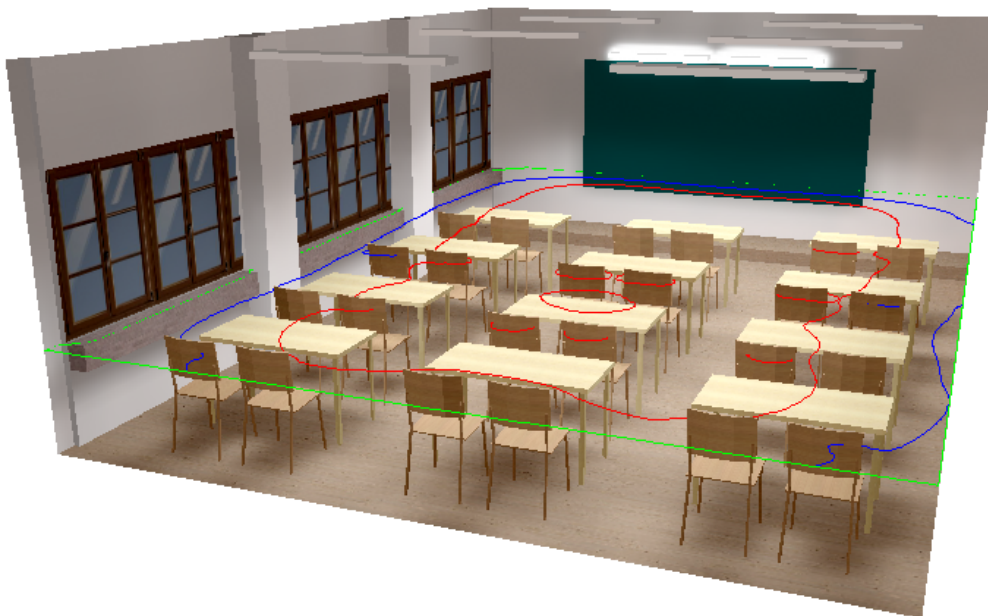


Figura 4. 16 – Simulação em Dialux com Philips Smartform TCS460 2xTL5 e TWS462 1xTL5 HFP MLO P.

Tendo em conta que este modelo de luminária permite a escolha de mono-lâmpada, efetuou-se a simulação recorrendo ao mesmo modelo, mas com apenas uma lâmpada. É óbvio que teve que se escolher uma lâmpada com uma potência luminosa considerável para se conseguir atingir o resultado desejado.

Foram feitas inúmeras simulações com este modelo mono-lâmpada, incluindo diferentes difusores, grelhas e vidros. O que se aproximou do desejado foi o resultado que se encontra na Figura 4.18. Note-se que a potência da lâmpada já ia nos 73W, pelo que para se atingir o valor recomendado, teria que escolher uma potência ainda superior à escolhida, o que não seria de todo aconselhável em termos de eficiência luminosa e energética.

Referência Sala de Aula: Philips Smartform TCS460 1xTL5-73W HFP C8-VH (ver Figura 4.17).

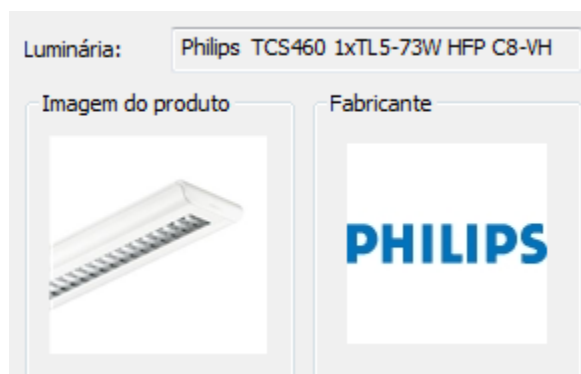


Figura 4. 17 – Segunda luminária usada no projeto C.



Figura 4. 18 – Simulação em Dialux com Philips Smartform TCS460 1xTL5-73W HFP C8-VH.

Nesta simulação a iluminância média foi de 386 lux no plano de trabalho. A potência específica foi de 12,24 W/m². As luminárias e lâmpadas simuladas anteriormente para o quadro mantiveram-se nesta simulação.

4.4. Projeto D

Referência Sala de Aula: 6 x Philips Arano TCS640 2xTL5-32W HFP C8 (ver Figura 4.19).

Referência Quadro: 4x Philips Arano TWS640 1xTL5-24W HFP AC-MLO

Fatores de Reflexão: Teto 70%, Paredes 50%, Chão 20%

Fator de Manutenção: 80%



Figura 4. 19 – Primeira luminária usada no projeto D.

Nesta simulação (ver Figura 4.20), a iluminância média obtida foi de 490 lux. A potência específica obtida foi de 11,01 W/m².

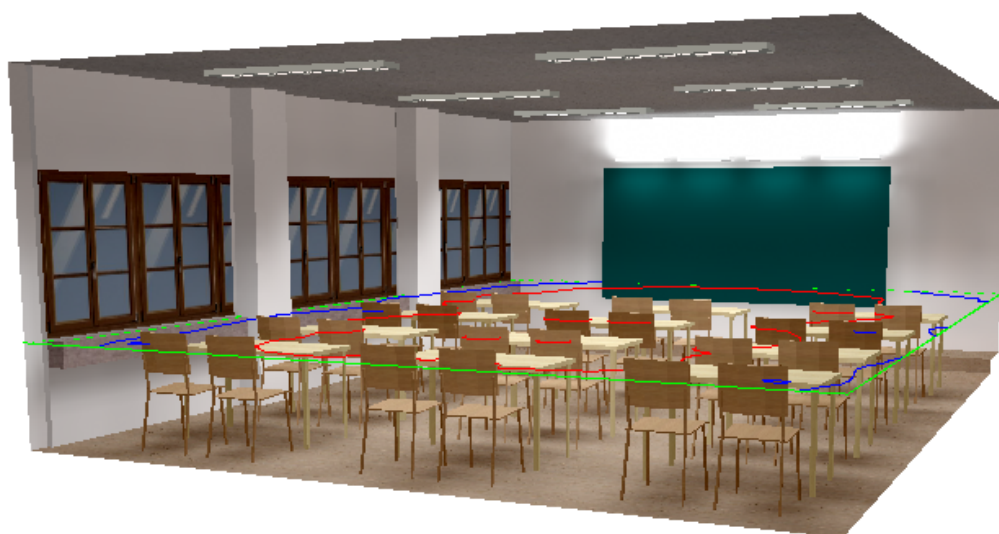


Figura 4. 20 – Simulação em Dialux com Philips Arano TCS640 2xTL5-32W HFP C8

Uma simulação que este modelo permite fazer é usando uma luminária pouco comum nas salas de aula em Portugal. Trata-se de uma luminária quadrada com três lâmpadas ou até quatro lâmpadas. Para este projeto efetuou-se o teste com três lâmpadas.

Referência Sala de Aula: 6 x Philips Arano TCS640 3xTL5-20W HFP C8 VH (ver Figura 4.21).

Referência Quadro: 4x Philips Arano TWS640 1xTL5-24W HFP AC-MLO



Figura 4. 21 – Segunda luminária usada no projeto D.

O resultado obtido foi bastante satisfatório, 466 lux de iluminância média e de 10,64 W/m² de potência específica, permitindo escolher lâmpadas de baixa potência como foi o caso, em que cada uma tinha apenas 20W. O resultado obtido nesta simulação é apresentado na Figura 4.22.

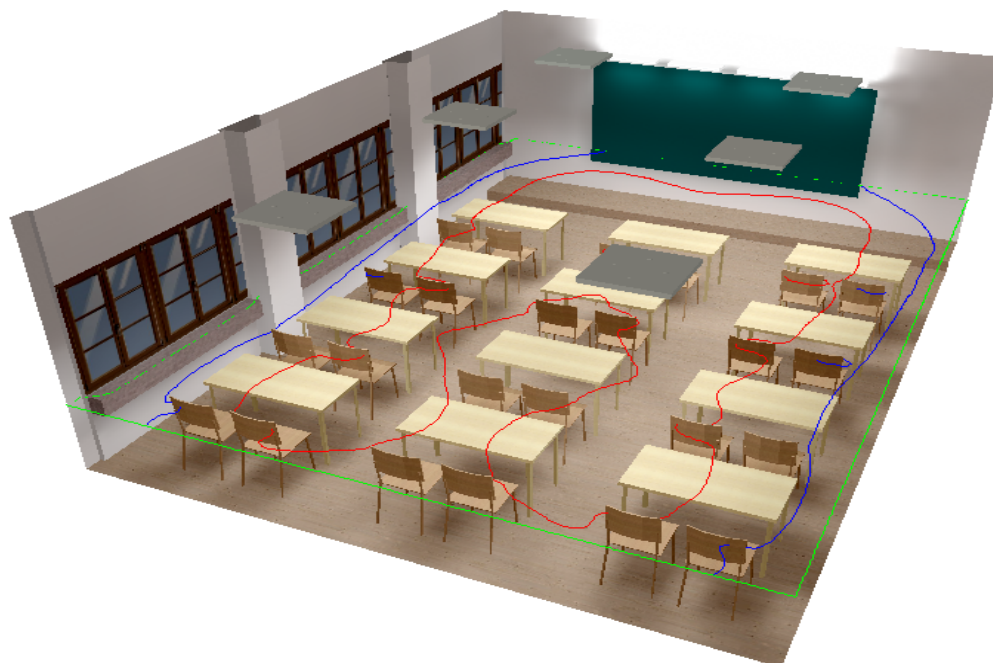


Figura 4. 22 – Simulação em Dialux com Philips Arano TCS640 3xTL5-20W HFP C8 VH

Com base neste tipo de soluções pode-se obter resultados extremamente positivos, com melhoria da eficiência energética. Este tipo de luminária ainda não é comercializado pela Philips com lâmpada de LED, apenas lâmpadas TL5 fluorescentes. Num futuro próximo a tecnologia LED poderá ser uma mais valia na escolha destes dois modelos da luminária Philips Arano, pois foi uma das que obteve melhores resultados na simulação.

4.5. Plug-in Philips

Como já referido, para fazer a simulação usando o *Dialux*, recorreu-se a um *plug-in* do fabricante Philips, por forma a facilitar a escolha das características das luminárias, em função do que era pretendido.

Este *plug-in* está disponível no sítio do fabricante, onde pode ser feito o download e posterior instalação no computador do projetista. Depois basta abrir o software *Dialux*, e a base de dados das luminárias estará pronta a utilizar.

A Figura 4.23 mostra o *layout* dessa base de dados, depois de instalada no computador do utilizador.

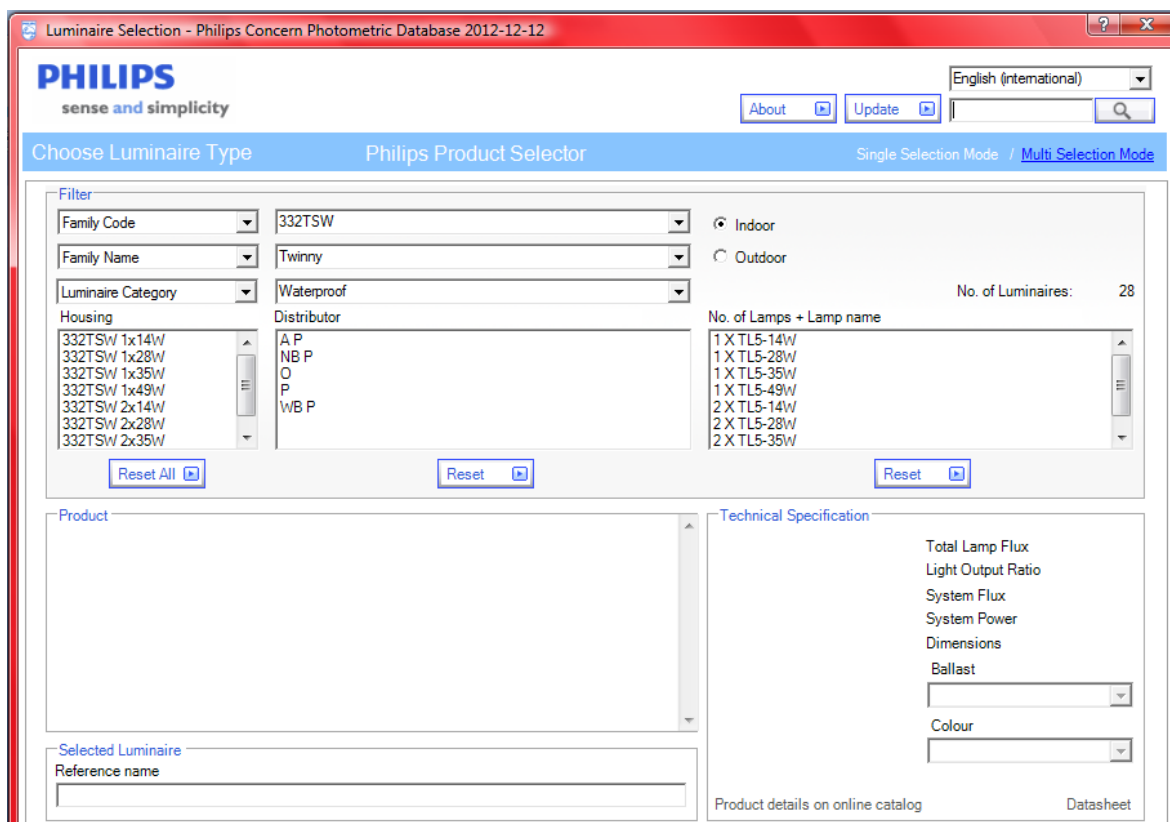


Figura 4. 23 – PlugIn do Fabricante Philips para Dialux.

O utilizador pode escolher se pretende pesquisar a luminária na base de dados através do código da luminária, se o souber, do nome da família a que pertence, a categoria da luminária, se é uma luminária de uso interior se de uso exterior, etc.

A título de exemplo, se o projetista quiser procurar o que há disponível na base de dados da Philips acerca do modelo Smartform TCS460, basta escolher no campo *Family Name* o nome SmartForm TCS460. De seguida pode procurar se quer a luminária mono-lâmpada, duas lâmpadas ou outras, a potência da lâmpada, o tipo de balastro, o tipo de refletor e de vidro.

Quando fizer a sua escolha, terá toda a informação sobre o conjunto, desde o fluxo luminoso total da lâmpada ao fluxo total do sistema, bem como lhe dá acesso à escolha da cor da lâmpada, se prefere uma cor mais quente ou mais fria. A Figura 4.24 mostra o resultado do exemplo.

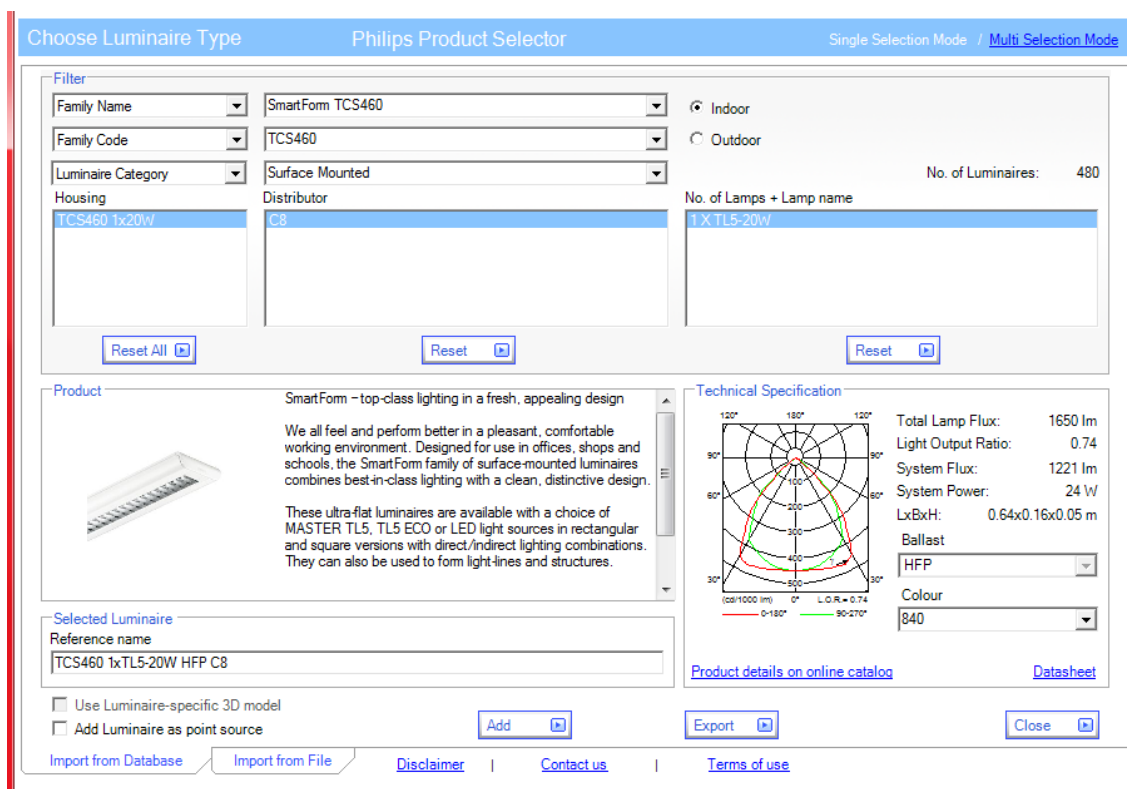


Figura 4. 24 – Base de dados do PlugIn da Philips

As cores das lâmpadas são vistas através de um código composto por três dígitos. O primeiro dígito refere-se ao Índice de Reprodução de Cor, que é considerado muito bom se estiver compreendido entre 80 e 90. Os dois últimos dígitos referem-se à temperatura da cor em Kelvin, sensação de mais fria (azul) ou mais quente (amarela). Por exemplo uma lâmpada

que tenha o código 827, significa que o Índice de Reprodução de Cor (IRC) é de 80, e que a temperatura de cor é de 2700 K (cor amarelada, mais quente).

Como complemento ao *plug-in* da Philips, também foi utilizado um catálogo *online* do mesmo fabricante, totalmente em português, onde se pode escolher o tipo de luminária de acordo com o fim a que se destina. Desde luminárias de interior e exterior, passando pelas lâmpadas e também controlo de iluminação que o fabricante tem disponível [16]. O *layout* do site pode ser visto na Figura 4.25.

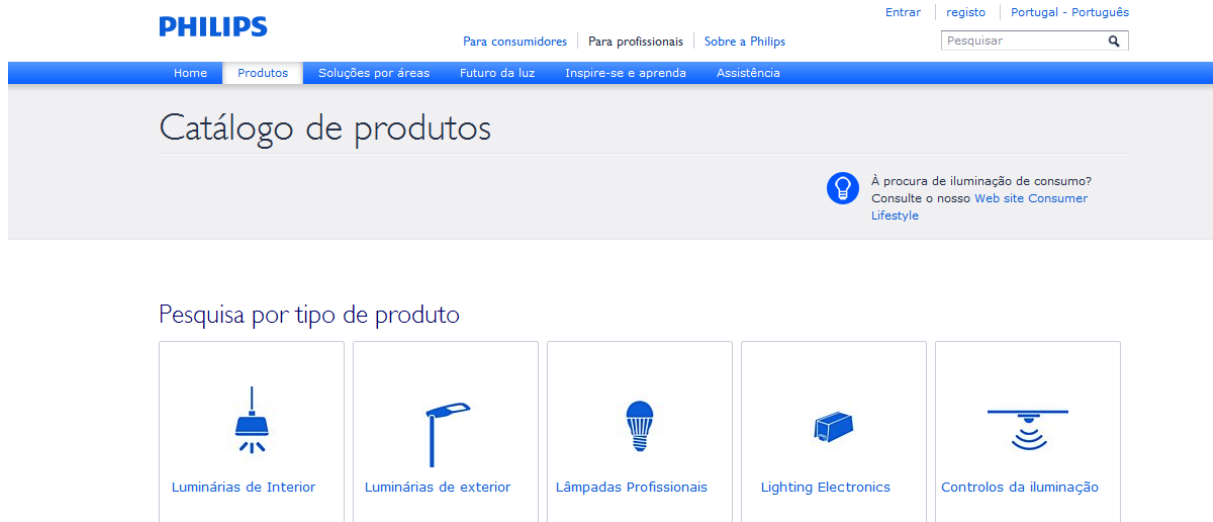


Figura 4. 25 - Layout do site.

É possível depois escolher um conjunto de parâmetros, por forma a encontrar a luminária ideal para o projeto em mãos (Ver Figura 4.26).

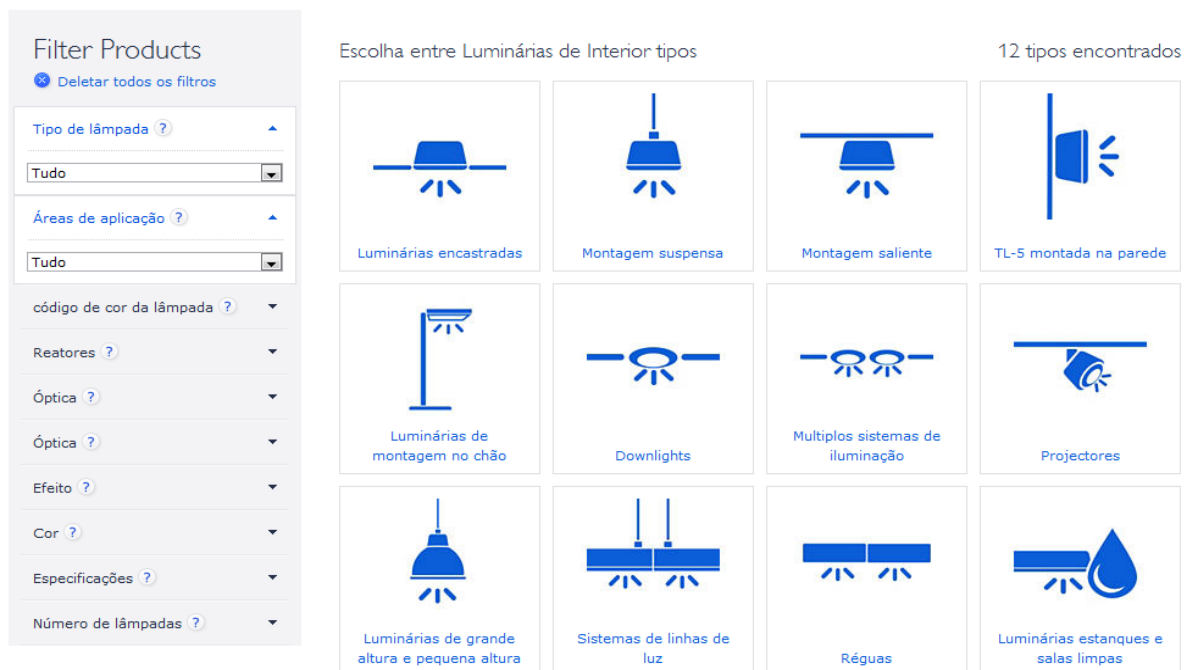


Figura 4. 26 – Parâmetros de escolha disponível no site.

4.6. Análise Económica dos Projetos

É também função do projetista efetuar uma pequena análise económica das tecnologias propostas. A escolha de uma tecnologia não deve ser feita só com base nas questões técnicas. Como qualquer investimento, deve haver um conhecimento dos riscos e das vantagens a ele associados. Para isso é necessário recorrer a alguns indicadores económicos que ajudem o dono da obra a tomar uma decisão.

Neste trabalho será feita apenas uma breve análise económica, recorrendo a esses indicadores, nomeadamente ao Valor Atual Líquido (VAL), à Taxa Interna de Rentabilidade e (TIR) e ao Tempo de Retorno do Investimento.

O VAL é o valor presente de um projeto, calculado a partir dos fluxos de caixa futuros. Basicamente é uma estimativa de todo o dinheiro que se vai ganhar e gastar com um projeto. Se o VAL tiver um valor positivo, significa que o projeto é economicamente viável. Se VAL for nulo o projeto também é viável, mas já está no limite. Se o VAL tiver um valor negativo, o projeto será, à partida, inviável em termos económicos.

No entanto, este indicador, apesar de certo, não pode ser utilizado isoladamente, pois não permite escolher entre dois projetos com o mesmo VAL, mas com diferentes custos de investimentos. Então, normalmente é calculada também a TIR, que é a taxa de juro que anula o valor atual de uma série de fluxos de caixa. É a taxa mais elevada que um investidor pode contrair empréstimo para financiar o investimento, sem perder dinheiro. Em termos numéricos é igualar o $VAL=0$ em ordem à taxa de atualização.

A análise económica efetuada teve por base determinados pressupostos, nomeadamente o tempo de vida útil dos equipamentos e a utilização diária e mensal das tecnologias.

Assim, considerou-se:

Tempo de vida útil dos equipamentos - 30 000 horas;

Utilização diária – 7 horas;

Funcionamento mensal – 22 dias;

Funcionamento anual – 11 meses.

Tendo em consideração os pressupostos anteriores, procedeu-se a uma avaliação para um período de 18 anos.

Na Tabela 4.3 apresenta-se a comparação efetuada tendo por base os custos de investimento das diferentes tecnologias e os respetivos consumos anuais.

Tabela 4. 3 – Comparação das tecnologias com base nos custos e consumos anuais.

PROJETO	Tecnologia	Custo Unitário Luminária Sala c/ IVA	Custo Unitário Aplique Sala c/ IVA	Consumo Anual [kWh]	Investimento [€]
A1	Celino TCS	359,04 €	180,81 €	10977,12	32.360,70 €
A2	Celino TCS	446,87 €	180,81 €	13172,54	38.683,89 €
A3	Celino TCS	234,20 €	180,81 €	7196,11	20.218,68 €
B1	Celino TBH	803,31 €	389,91 €	10245,31	71.875,29 €
B2	Celino TBH	803,31 €	389,91 €	13416,48	71.875,29 €
B3	Celino TBH	577,73 €	389,91 €	8291,82	55.633,39 €
C1	Smartform	246,25 €	214,38 €	13009,92	22.875,93 €
C2	Smartform	201,48 €	214,38 €	10936,46	19.652,34 €
D1	Arano	290,16 €	294,46 €	9757,44	35.026,36 €
D2	Arano	303,08 €	294,46 €	9269,56	35.956,24 €

Na Tabela 4.4 são apresentados os valores dos indicadores económicos (VAL, TIR e *Payback*) obtidos para os diferentes projetos analisados, para uma taxa de atualização de 6%.

Tabela 4. 4 – Indicadores económicos.

PROJETO	TIR [%]	VAL [€]	PB [anos]
A1	-16,83	-24 090	---
A2	-----	-32 084	---
A3	-5,10	-9 306	---
B1	-19,44	-55 280	---
B2	-----	-59 114	---
B3	-14,31	-39 525	---
C1	-24,07	-18 175	---
C2	-13,52	-13 706	---
D1	-13,91	-24 673	---
D2	-13,08	-24 795	---

De acordo com os valores obtidos para os indicadores económicos, obtidos para os diferentes projetos, poderíamos concluir que nenhum dos projetos avaliados será economicamente viável: valores negativos para o Valor Atual Líquido (VAL) e Taxa Interna de Retorno (TIR) e sem um período de retorno do investimento dentro do tempo de vida da tecnologia considerado. Estes resultados devem-se aos investimentos elevados dos diferentes projetos, consequência da necessidade de garantir os níveis de iluminação exigidos para uma escola.

5. RESULTADOS E CONCLUSÕES

O sistema de iluminação atualmente existente no edifício escolar é constituído maioritariamente por luminárias mono-lâmpadas, sem qualquer tipo de refletor ou vidro. São luminárias bastante simples e desenquadradas com o tipo de edifício onde estão inseridas.

A título de exemplo, a iluminação dos quadros das salas de aula é composta por 2 luminárias mono-lâmpadas com sanca em madeira de cor escura. A lâmpada instalada nessas luminárias é uma Philips TLD de 36 W com o código 840 de cor. TLD significa que é uma lâmpada T8 de diâmetro 26mm.

5.1. Discussão das Propostas/Projetos apresentados

Neste projeto, como referido no capítulo anterior sobre a escolha das tecnologias, optou-se por colocar na iluminação dos quadros lâmpadas TL5, ou seja lâmpadas T5 com diâmetro de 16mm. Este tipo de lâmpadas tem maior rendimento na luminária e são mais vulgares atualmente. Apenas no segundo projeto são usadas ainda as TLD (T8 de 26mm de diâmetro).

As lâmpadas propostas para serem utilizadas nas salas de aula e restantes divisões são também TL5, com níveis de potência diferentes, conforme a divisão em causa.

O código de cor escolhido manteve-se na mesma nos 840 para a maioria, pois é a cor da luz mais indicada para salas de aula e escritórios.

A primeira proposta, projeto A, numa primeira fase, foi simulado com a luminária Philips Celino TCS 2xTL5 40W cada para o teto e TWS 1xTL5 20W cada para o quadro da sala. Supôs-se um fator de reflexão de 70% para o teto, 50% para parede e 20% para chão, assim como um fator de manutenção das luminárias de 80%. Não se conseguiu obter o nível de iluminância desejado, ou inicialmente estipulado, que seriam os 500 lux.

Então efetuou-se nova simulação, com a mesma luminária, mas com um refletor diferente, com menos perdas, e com lâmpadas de 49W. Os resultados melhoraram, mas ainda estavam longe do esperado. Fez-se uma nova simulação com a mesma luminária, mesma lâmpada, mesmo refletor, mas em vez de serem duas lâmpadas por luminária, voltou-se ao original, luminária mono-lâmpada, reduzindo bastante o nível de iluminância média do local.

O segundo projeto, projeto B, consiste em escolher outro modelo de luminária. A escolha recaiu num outro modelo recomendado para salas de aula. O modelo é na mesma a Celino, mas o submodelo digamos, é que é diferente. Escolheu-se para a sala de aula a Philips Celino

TBH318 2xTL-D36W HFE M5 e para a iluminação do quadro, como este modelo dava para levar lâmpada de LED, escolheu-se a Philips Celino BCS680 W7L122 1xLED24/840 LIN-PC. Foram usadas no quadro três luminárias, ao invés de duas como de origem.

Fizeram-se algumas simulações basicamente de tentativa e erro, e a que obteve melhores resultados para o efeito foi a que se usou a Philips Celino TBH424 2xTL5 28W HFP C5-HGT, onde se obteve uma iluminância média de 505 lux. Foi dos melhores resultados obtidos nas simulações no geral. De salientar que também foi das simulações em que se obteve a menor potência por lâmpada, 28 W cada lâmpada. A iluminação do quadro manteve-se igual.

No projeto C utilizou-se para o teto da sala de aula a Philips Smartform TCS460 2xTL5-45W HFP C8-VH e para a iluminação do quadro da sala a Philips Smartform TWS462 1xTL5-50W HFP MLO PC. Aqui o modelo de luminária já é diferente das simuladas anteriormente, mas continua a ser um modelo indicado para escolas. Neste projeto por uma questão meramente ilustrativa, alteraram-se os fatores de reflexão das paredes e teto. Os utilizados foram Teto 50%, Paredes 50%, Chão 20%. O fator de manutenção manteve-se nos 80%. Nesta simulação, a iluminância média atingida foi 472 lux no plano de trabalho. A potência específica obtida foi de 14,57 W/m². Conclui-se que se os fatores de reflexão não tivessem sido alterados, os resultados teriam sido melhores, colocando esta luminária e lâmpada num bom lugar na classificação.

Fez-se também a simulação para a sala de aula recorrendo à mesma luminária, mas usando apenas uma lâmpada por luminária, uma vez que este modelo permitia essa escolha. Os resultados afastaram-se dos recomendados, pelo que a escolha dupla é a melhor em termos de resultados de iluminância.

Por fim, o projeto D, consistiu em utilizar para a sala de aula outro modelo da Philips. A escolha recaiu para um modelo também indicado para escolas, e foi a Philips Arano TCS640 2xTL5-32W HFP C8 e para o quadro Philips Arano TWS640 1xTL5-24W HFP AC-MLO. Neste caso foram simulados para o quadro, quatro luminárias em vez de três como no caso anterior, ou de duas como está de origem. O resto da sala manteve-se com seis luminárias de teto, aliás, como em todas as simulações efetuadas. Os fatores de reflexão voltaram a ser: Teto 70%, Paredes 50%, Chão 20% e fator de manutenção de 80%.

Neste projeto D foi possível simular também um tipo de luminária não muito usual nas salas de aula de Portugal. São luminárias mais vistas em escritórios ou bibliotecas, mas na simulação obteve resultados muito bons. É uma luminária que não é retangular como é o mais comum, mas sim quadrada. Existem de duas lâmpadas, três e quatro. Para esta simulação

escolheu-se a luminária de três lâmpadas. Permitiu a escolha de lâmpadas de baixa potência quando comparadas com as tecnologias simuladas anteriormente. A tecnologia referida aqui é a Philips Arano TCS640 3xTL5-20W HFP C8 VH para o teto das salas de aula e para o quadro da sala manteve-se a utilizada na simulação anterior, ou seja, a Philips Arano TWS640 1xTL5-24W HFP AC-MLO, também com quatro luminárias mono-lâmpada como no anterior.




Adicionalmente, foi considerado nos termos regulamentares a iluminação de segurança pela colocação de luminárias específicas equipadas com kit's para autoalimentação com a finalidade de assegurarem a iluminação de segurança das circulações e indicação de saídas, dividida em mais do que um circuito, compreendendo a iluminação de segurança de circulação e a iluminação de segurança ambiente, conforme é detalhado na secção destinada à iluminação de emergência.

5.2. Resultados e Comparações

Importa agora analisar os projetos e fazer uma comparação simples de resultados, para ajudar na escolha da melhor tecnologia simulada, pois cada uma terá as suas vantagens e desvantagens.

Projeto A: Philips Celino TCS e TWS TCS680




Tabela 5. 1 – Comparação de Resultados do Projeto A.

			
Nº lâmpadas	2 TL5	2 TL5	1 TL5
Potencia lâmpada	39 W	49 W	49 W
Preço lâmpada	Incluído	Incluído	Incluído
Preço luminária	359,04 €	446,87 €	234,20 €
Nº luminárias	6	6	6
Nº luminárias quadro	3	3	3
Quadro lamp x pot	1 x TL5 20 W	1 x TL5 20 W	1 x TL5 20 W
Custo Total (Sala+Qdr)	32.360 €	38.683 €	20.218 €
Níveis de iluminação	200 lux	600 lux	340 lux
Potência Específica	Bastante baixa	14,74 W/m ²	8,23 W/m ²

TIR	-16,83 %	--	- 5,10 %
VAL	- 24090€	- 32084 €	- 9306 €
Tempo de Retorno Invest	--	--	--
Redução anual consumos	1707,55 kWh	aumento	5488,56 kWh
Redução anual de custos	204,90 €	aumento	658,62 €



Projeto B: Philips Celino TBH318 HFE M5 e Celino BCS680 W7L122 LIN-PC

Tabela 5. 2 – Comparação de Resultados do Projeto B.

			
Nº lâmpadas	2 TLD	2 TL5 2 TL5	2 TL5
Potência Lâmpada	36 W	49 W 35 W	28 W
Preço Lâmpada	Incluído	Incluído	Incluído
Preço Luminária	803,31 €	803,31 €	577,73 €
Nº luminárias	6	6	6
Nº luminárias quadro	3	3	3
Quadro lamp x pot	1 x 24 W (LED)	1 x 24 W (LED)	1 x 24 W (LED)
Custo Total (Sala+Qdr)	71.875 €	71.975 €	55.633 €
Níveis de iluminação	311 lux	798 lux 620 lux	505 lux
Potência específica	2 W/m ²	14,80 W/m ² n.a.	9,15 W/m ²
TIR	- 19,44 %	--	- 14,31 %
VAL	- 55280 €	- 59114 €	- 39525 €
Tempo Retorno Invest	--	--	--
Redução anual consumos	2439,36 kWh	aumento	4390,85 kWh
Redução Anual Custos	291,40 €	aumento	526,90 €


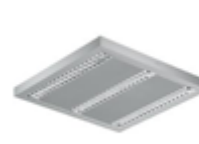
Projeto C: Philips Smartform TCS460 HFP C8-VH e TWS462 HFP MLO PC

Tabela 5. 3 – Comparação de resultados do Projeto C.

		
Nº lâmpadas	2 TL5	1 TL5
Potência Lâmpada	45 W	73 W
Preço Lâmpada	Incluído	Incluído
Preço Luminária	246,25 €	201,48 €
Nº luminárias	6	6
Nº luminárias quadro	2	2
Quadro lamp x pot	1 x TL5 50 W	1 x TL5 50 W
Custo Total (Sala+Qdr)	22.875 €	19.652 €
Níveis de iluminação	472 lux	386 lux
Potência específica	14,57 W/m ²	12,24 W/m ²
TIR	- 24,07 %	- 13,52 %
VAL	- 18175 €	- 13706 €
Tempo Retorno Invest	--	--
Redução Anual Consumos	Aumento	1748,21 kWh
Redução Anual Custos	Aumento	209,78 €

Projeto D: Philips Arano TCS640 HFP C8 e Philips Arano TWS640 HFP AC-MLO

Tabela 5. 4 – Comparação de Resultados do Projeto D.

		
Nº lâmpadas	2 TL5	3 TL5
Potência Lâmpada	32 W	20 W
Preço Lâmpada	Incluído	Incluído
Preço Luminária	290,16 €	303,08 €
Nº luminárias	6	6
Nº luminárias quadro	4	4
Quadro lamp x pot	1xTL5-24W	1xTL5-24W
Custo Total (Sala+Qdr)	35.026 €	35.956 €

Níveis de iluminação	490 lux	466 lux
Potência específica	11,01 W/m ²	10,64 W/m ²
TIR	- 13,93 %	- 13,08 %
VAL	- 24673 €	- 24795 €
Tempo Retorno Invest	--	--
Redução Anual Consumos	2927,23 kWh	3415,1 kWh
Redução Anual Custos	351,26 €	409,81 €

Tendo por base estes valores indicados, bem como os referenciados na breve análise económica que foi feita anteriormente, pode-se dizer que, em termos económicos e luminotécnicos, o projeto mais vantajoso para este edifício será o projecto A3, pois é o que apresenta uma das maiores reduções de consumos, e o custo total do projeto é dos mais baixos. Os níveis de iluminação conseguidos também são bastante satisfatórios. Este projeto consegue níveis de iluminação na ordem dos 340 lux, bem próximo do valor de referência. Tem um consumo anual de cerca de 7196 kWh, o que se traduz numa redução de consumos anuais comparativamente com a tecnologia existente de cerca de 5488 kWh.

O projeto B3 também consegue valores satisfatórios, que se aproximam em muito do projeto anterior. Nesta simulação conseguem-se níveis de iluminação de aproximadamente 505 lux, valor também ideal para o tipo de edifício. O consumo desta tecnologia situa-se nos 8291 kWh por ano, o que se reflecte numa poupança de 526€ano e numa redução de consumos de perto de 4391 kWh/ano.

O projeto D2 também apresenta resultados de elevado interesse para o tipo de obra em questão, visto tratar-se de uma tecnologia um pouco diferente de todas as outras. Ainda assim é favorável, conseguindo uma redução anual de consumos na ordem dos 3415 kWh face à tecnologia existente. Tem um consumo anual de 9269 kWh, o que se traduz numa poupança de 409 € por ano. Os níveis de iluminação conseguidos também são ideais para o tipo de instalação, cerca de 466 lux. O projeto D1 também consegue apresentar resultados favoráveis, tendo sido obtidos níveis de iluminação na ordem dos 490 lux. Consegue-se reduzir o consumo anual em 2927 kWh, tendo este projecto apresentado um consumo anual total de 9757 kWh.

Os projetos A2, B2 e C1 não representam uma escolha favorável, pois não existe efectivamente redução de consumo face à tecnologia existente. Inclusivamente os projetos A2 e B2 apresentam níveis de iluminação muito superiores aos recomendados para a situação em

causa, devido às elevadas potências das lâmpadas que são possíveis utilizar nessas tecnologias.

5.3. Cumprimento dos objetivos e Trabalhos futuros

A elaboração deste projeto permitiu entender a complexidade de um projeto eletrotécnico no que respeita à remodelação de infraestruturas existentes. Além de ser um projeto muito específico, e ter associado algumas regras de elaboração para o mesmo, a concretização e organização dos circuitos, tendo em conta o espaço existente e o aproveitamento das estruturas, foi algo relativamente complexo.

Elaboraram-se as peças de *Autocad*, bem como algumas simulações de luminárias no *Dialux*, de acordo com os objetivos propostos, tendo estes sido cumpridos na íntegra.

Como trabalho futuro, existem diversos aspetos a ter em consideração. Serão sugeridos alguns, mas apenas a título de exemplo, parecendo os mais relevantes para o tipo de projeto em causa.

É possível desenvolver o projeto ITED, assim como um projeto de redes estruturadas para o edifício, pois o atual está muito aquém do necessário, algo muito importante nos dias de hoje, tendo em conta o tipo de edifício que é.

Também não descurando a segurança, é possível dar continuidade ao projeto de iluminação de segurança, desenvolvendo outros recursos, bem como elaborar o projeto de segurança contra incêndios, de acordo com as normas da ANPC para estes edifícios, e também um projeto de intrusão, principalmente um sistema de CCTV, para monitorização das instalações e das crianças também.

Um sistema de chamada também é possível de implementar.

A nível de eficiência energética, a colocação de sensores noutras zonas, que não apenas casas de banho, bem como a instalação de painéis solares fotovoltaicos e coletores solares permitirá uma significativa melhoria.

A nível de janelas e portas também é possível intervir, substituindo, por exemplo, os caixilhos das janelas de madeira por uns de PVC ou alumínio, de preferência com vidro duplo, e substituindo as portas das salas de aula e as exteriores por portas reforçadas e isoladas, ou isolando as que existem atualmente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Thewesa, A, Maasa, S., Scholzena, F., Waldmanna, D., Zürbes A. (2014). Field study on the energy consumption of school buildings in Luxembourg. *Energy and Buildings* 68, 460–470.
- [2] ISR (2005). Manual de boas práticas de eficiência energética.
- [3] Philips (2008). Let's save energy - now!
- [4] U.S. Environmental Protection Agency (2011). Energy Efficiency Programs in K-12 Schools. A Guide to Developing and Implementing Greenhouse Gas Reduction Programs.
- [5] Argiro Dimoudi (2013). Analysis of energy performance and conservation measures of school buildings in northern Greece. *Advances in Building Energy Research*, 7:1, 20-34
- [6] Enerbuilding.eu (2008). A utilização racional de energia em edifícios públicos.
- [7] Sustainable Energy Ireland (2012). Schools. A Guide to Energy Efficiency and Cost Effective Lighting.
- [8] Ficha Técnica 23, Março 2008, Manual Certiel
- [9] Francisco, António M. S.: “ Instalações Elétricas: Intrusão Incêndio Iluminação de Emergência” versão 2
- [10] http://www.policabos.pt/fotos/editor2/IP_CLASSES_PROTECCAO.pdf
- [11] <http://www.prof2000.pt/users/lpa/%C3%8Dndice%20de%20protec%C3%A7%C3%A3o.pdf>
- [12] <http://www.qenergia.pt/content/index.php?action=detailfo&rec=227>
- [13] <http://www.projectista.pt/wp-content/uploads/2011/12/Cat%C3%A1logo%20Ioniflash.pdf>
- [14] http://www.at3w.com/site/upload/ficheros/divulg_importancia_de_una_toma_de_tierra_adecuada_portugues.pdf
- [15] www.parque-escolar.pt/pt/.../manual-projeto-de-instalacoes-tecnicas.aspx
- [16] <http://www.ecat.lighting.philips.pt/l/> - Catalogo dialux philips online

ANEXOS

Plantas

Cotação da Philips para as luminárias

Desenho Nº.1 – Rés do Chão (Ala Nascente) - Iluminação

Desenho Nº.2 – 1º Andar (Ala Nascente) - Iluminação

Desenho Nº.3 – Rés do Chão (Ala Poente) - Iluminação

Desenho Nº.4 – 1º Andar (Ala Poente) - Iluminação

Desenho Nº.5 – Rés do Chão (Ala Nascente) – Tomadas / Informática

Desenho Nº.6 – 1º Andar (Ala Nascente) - Tomadas / Informática

Desenho Nº.7 – Rés do Chão (Ala Poente) - Tomadas / Informática

Desenho Nº.8 – 1º Andar (Ala Poente) - Tomadas / Informática

Desenho Nº.9 – Rés do Chão (Ala Nascente) – Iluminação Segurança / Caminhos Evac.

Desenho Nº.10 – 1º Andar (Ala Nascente) – Iluminação Segurança / Caminhos Evac.

Desenho Nº.11 – Rés do Chão (Ala Poente) - Iluminação Segurança / Caminhos Evac.

Desenho Nº.12 – 1º Andar (Ala Poente) - Iluminação Segurança / Caminhos Evac.

Desenho Nº.13 – Esquema do Quadro Geral