

unesp  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

ALESSANDRO DE RAMOS PEDROSO

ILUMINAÇÃO DE EXTERIORES UTILIZANDO TECNOLOGIA LED:
ESTUDO DE CASO

Guaratinguetá
2011

ALESSANDRO DE RAMOS PEDROSO

ILUMINAÇÃO DE EXTERIORES UTILIZANDO TECNOLOGIA LED:
ESTUDO DE CASO

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Durval Luiz S. Ricciulli

Guaratinguetá
2011

P372i Pedroso, Alessandro de Ramos
Iluminação de exteriores utilizando tecnologia LED: estudo de caso /
Alessandro de Ramos Pedroso – Guaratinguetá : [s.n], 2011.
51 f : il.
Bibliografia: f. 43

Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.
Orientador: Prof. Dr. Durval Luiz da Silva Riciulli

1. Iluminação 2. Lâmpadas elétricas I. Título

CDU 628.9

**ILUMINAÇÃO DE EXTERIORES UTILIZANDO TECNOLOGIA LED:
ESTUDO DE CASO**

ALESSANDRO DE RAMOS PEDROSO

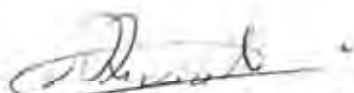
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

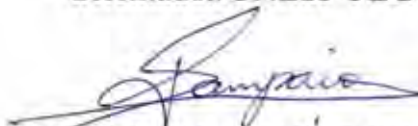


Prof. Dr. Samuel Euzédice de Lucena
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. DURVAL LUIZ SILVA RICCIULLI
Orientador/UNESP-FEG



Prof. Dr. DANIEL JULIEN B. DA S. SAMPAIO
UNESP-FEG



Prof. Msc. JOMAR ESTEVES BUENO
CTI-FEG

Dezembro de 2011

aos meus pais Roberto e Maria, ao meu irmão Franklin e a minha irmã Julia, por sempre me incentivarem a seguir adiante.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Roberto e Maria, por me proporcionarem tudo o que já obtive na vida, por serem minha inspiração e por sempre lutarem para me oferecer o melhor.

Aos meus irmãos Franklin e Julia que assim como meus pais são muito importantes para mim.

Ao Prof. Dr. Durval Luiz S. Ricciulli por me orientar com dedicação no Trabalho de Graduação, contribuindo para a finalização da minha graduação.

Aos meus irmãos de República, Frederico Almeida (Kiko) e Gabriel Sassao (Shaolin) que proporcionaram momentos únicos em meu melhor ano de faculdade.

À República Vamointão que foi minha família no período de graduação, que sempre me ajudou quando precisei e que criou amizades para uma vida inteira.

“No meio da dificuldade encontra-se a oportunidade.”

Albert Einstein

PEDROSO, A. R. **Iluminação de exteriores utilizando tecnologia LED: estudo de caso.** 2011. 51 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

RESUMO

Esse Trabalho de Graduação tem o objetivo de apresentar a análise da aplicabilidade da tecnologia LED em um caso prático de iluminação exterior, sendo essa solução para o projeto luminotécnico comparada com a proposta inicial, as lâmpadas de vapor de sódio. O objeto de estudo escolhido é uma área externa composta por vias e estacionamentos de uma planta industrial. Para tal comparação é utilizado um *software* de cálculo de iluminação, em que os resultados são visualizados instantaneamente, permitindo uma análise rápida do projeto por meio de uma simulação. Para que a análise de ambas as soluções propostas no estudo de caso apresentado seja adequada foi mantido o mesmo iluminamento médio e foram respeitados os índices mínimos determinados por norma. Para que se obtenha uma análise ampla desse estudo são considerados na avaliação dos projetos diversos aspectos, como econômicos, ambientais e de qualidade de iluminação. A tecnologia LED em iluminação de exteriores apresenta-se incipiente, porém promissora. São grandes as vantagens das lâmpadas de estado sólido em relação a outras tecnologias, como as lâmpadas a descarga, porém há desvantagens atreladas aos novos produtos que se espera serem superadas com o desenvolvimento tecnológico e com o aumento da produção.

PALAVRAS-CHAVE: Projeto luminotécnico. Iluminação de exteriores. Luminária LED. Lâmpada de vapor de sódio.

PEDROSO, A. R. **Outdoor lighting using LED technology: a case study**. 2011. 51 f. Graduate Work (Graduate in Electrical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

ABSTRACT

This Graduate Work aims to exhibit the analyze of the applicability of LED technology in a real outdoor lighting situation, and this project's illumination solution is compared with the initial proposal, the sodium vapor lamps. What is studied is an outdoor area, like the roads and parking lots of a plant. A light planning software is used for this comparison, and the results are displayed instantly, allowing rapid analysis of the project through a simulation. The medium illuminance is the same in both solutions for this case study and minimum rates set as standard were observed then the analysis are appropriate in this project. Various aspects are considered in order to obtain a comprehensive analysis of this project, such as economic, environmental and quality of lighting. LED technology in outdoor lighting is presented in its infancy, but promising. Solid state lamps show great advantages when compared with other technologies, such as discharge lamps, however there are some disadvantages tied to new products that are expected to be overcome with technological development and increased production.

KEY WORDS: Illumination project. Outdoor lighting. LED luminaire. Sodium vapor lamp.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva de distribuição luminosa em candelas por mil lumens.....	20
Figura 2 – Interface do <i>software</i> DIALux.....	22
Figura 3 – Lâmpada incandescente	23
Figura 4 – Lâmpada halógena tipo dicróica	24
Figura 5 – Lâmpadas fluorescentes	25
Figura 6 – Lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão	26
Figura 7 – Lâmpadas de vapor de sódio	27
Figura 8 – Lâmpadas a vapor metálico.....	28
Figura 9 – Lâmpada LED	29
Figura 10 – Detalhe do projeto em lâmpada de vapor de sódio	32
Figura 11 – Detalhe do projeto com luminária LED	35
Figura 12 – Luminária APL42	36
Figura 13 – Distribuição de Iluminância da lâmpada LED	37
Figura 14 – Diagrama espectral de energia de uma lâmpada de vapor de sódio.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Nível de iluminância recomendado	15
Tabela 2 – Determinação da refletância	16
Tabela 3 – Determinação do fator de depreciação	17
Tabela 4 – Índices mínimos para vias principais.....	31
Tabela 5 – Dados das lâmpadas de vapor de sódio	33
Tabela 6 – Dados dos equipamentos do projeto a vapor de sódio.....	33
Tabela 7 – Iluminância no projeto a vapor de sódio.....	34
Tabela 8 – Valores para o projeto a vapor de sódio	34
Tabela 9 – Iluminância no projeto a LED	36
Tabela 10 – Valores para o projeto a LED	37
Tabela 11 – Dados para comparação de investimentos.....	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 CONCEITOS LUMINOTÉCNICOS	12
2.1 Fluxo luminoso	12
2.2 Intensidade luminosa	12
2.3 Iluminância	13
2.4 Luminância	13
2.5 Eficiência luminosa	13
2.6 Temperatura de cor	14
2.7 Índice de reprodução de cor (IRC).....	14
2.8 Nível médio de iluminância	14
2.9 Fator de uniformidade da iluminância.....	14
3 MÉTODOS DE CÁLCULO DE ILUMINAÇÃO	15
3.1 Método dos lumens.....	15
3.2 Método das cavidades zonais.....	18
3.3 Método de ponto por ponto	19
3.4 Método computacional – <i>software</i> DIALux	21
4 TECNOLOGIAS DE ILUMINAÇÃO	23
4.1 Lâmpada incandescente.....	23
4.1.1 Lâmpada incandescente convencional.....	23
4.1.2 Lâmpada halógena	24
4.2 Lâmpada a descarga	25
4.2.1 Lâmpada fluorescente	25
4.2.2 Lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão.....	26
4.2.3 Lâmpada de vapor de sódio.....	27
4.2.4 Lâmpada de vapor metálico	27
4.3 Lâmpada de estado sólido – LED	28
5 ESTUDO DE CASO	30
5.1 Objetivo	30
5.2 Refinaria Ramos Pedroso I.....	30
5.3 NBR 5101 (ABNT) Iluminação pública.....	30
5.4 Projeto utilizando tecnologia vapor de sódio.....	31
5.5 Projeto utilizando tecnologia LED.....	35
6 ANÁLISE DE DADOS.....	38
6.1 Análise econômica	38
6.2 Análise dos aspectos luminotécnicos.....	39
6.3 Análise dos aspectos ambientais	40
7 CONCLUSÃO.....	42
REFERÊNCIAS	43
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	44
ANEXO A – Documentos obtidos pelo <i>software</i> DIALux	45
ANEXO B – Planta baixa.....	50
ANEXO C – Projeto com lâmpadas de vapor de sódio.....	51

1 INTRODUÇÃO

Esse Trabalho de Graduação tem como objetivo apresentar a análise da viabilidade técnica e econômica da utilização da tecnologia *light emitting diode* (LED) – diodo emissor de luz em um projeto de iluminação exterior, caracterizado por vias e estacionamentos. Esse projeto é classificado como de iluminação pública, sendo então orientado pela NBR 5101 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1992).

São apresentados conceitos luminotécnicos básicos que são imprescindíveis para o entendimento desse Trabalho de Graduação, pois esses termos são fatores de análise e comparação entre as soluções propostas para o projeto em estudo.

São abordados também alguns métodos de cálculo de iluminação, o método dos lúmens, o método das cavidades zonais e o método de ponto por ponto. Esses métodos são fundamentais para a elaboração de um projeto luminotécnico, sendo possível observar os resultados antes da implementação. Além desses métodos teóricos é apresentada uma forma de cálculo computacional, utilizando o *software* DIAlux.

As tecnologias de iluminação mais utilizadas são introduzidas brevemente, como as lâmpadas incandescentes convencionais, lâmpadas halógenas, lâmpadas fluorescentes, lâmpadas de vapor de mercúrio, lâmpadas de vapor de sódio, lâmpadas de vapor metálico e lâmpadas de estado sólido, para justificar as escolhas sugeridas para esse estudo.

Em seguida é apresentado o projeto da Refinaria Ramos Pedroso I¹, sendo focada a área externa em que será feito o estudo de iluminação. São verificados os índices luminotécnicos mínimos recomendados pela NBR 5101, de tal forma que os projetos desenvolvidos respeitem esses valores. A proposta inicial para esse projeto luminotécnico é a utilização de lâmpadas de vapor de sódio, apresentando-se uma solução viável e econômica. A seguir é feito o estudo da utilização de luminárias LED, sendo escolhida uma luminária LED com o melhor custo benefício observado na simulação do *software* de cálculo de iluminação.

São apresentadas análises das duas soluções, considerando diversos aspectos, como econômicos, ambientais, qualidade da iluminação, segurança das vias e o bem-estar dos usuários. Essas análises comparativas permitem que sejam feitas conclusões sobre a melhor proposta para esse projeto luminotécnico em estudo, permitindo também comparações com outras aplicações e projetos semelhantes ao estudo desse Trabalho de Graduação.

¹ Visando resguardar a identidade da empresa são utilizados nomes fictícios, não sendo então divulgado o nome da refinaria, bem como qualquer outra informação que possibilite a identificação do local.

2 CONCEITOS LUMINOTÉCNICOS

Neste capítulo são apresentados unidades e conceitos luminotécnicos utilizados em projetos de iluminação e que são fundamentais para a compreensão desse Trabalho de Graduação. A relação completa desses termos encontra-se na norma NBR 5461 (ABNT, 1992).

2.1 Fluxo luminoso

É a potência de energia luminosa emitida por uma fonte de luz, em todas as direções, capaz de sensibilizar o olho humano. Ou ainda, é definido como:

grandeza característica de um fluxo energético, exprimindo sua aptidão de produzir uma sensação luminosa no ser humano através do estímulo da retina ocular, avaliada segundo os valores da eficácia luminosa relativa admitidos pela Comissão Internacional C.I.E. (MOREIRA, 1999, p.17).

A unidade de fluxo luminoso é o lúmen (lm), que é definido como “o fluxo luminoso emitido no interior de um ângulo sólido de um esferorradiano por uma fonte puntiforme de intensidade invariável e igual a uma candela, em todas as direções” (CREDER, 2007, p.162).

2.2 Intensidade luminosa

É o fluxo luminoso emitido por um objeto numa dada direção. Ou ainda, “é o limite da relação entre o fluxo luminoso em um ângulo sólido em torno de uma direção dada e o valor desse ângulo sólido, quando esse ângulo sólido tende para zero” (MOREIRA, 1999, p.11).

A unidade de intensidade luminosa é a candela (cd), que corresponde à “intensidade luminosa, na direção perpendicular, a uma superfície plana de área igual a 1/600.000 metros quadrados, de um corpo negro à temperatura de fusão da platina, sob a pressão de 101.325 newtons por metro quadrado” (CREDER, 2007, p.162).

2.3 Iluminância

É a relação entre o fluxo luminoso emitido por uma fonte e a superfície iluminada por essa, ou seja, é a densidade de fluxo luminoso sobre a superfície na qual este incide. Ou ainda, matematicamente, pela equação (1).

$$E = \frac{d\phi}{dS} \quad (1)$$

A unidade de iluminância é o lux (lx), definido como a “iluminância de uma superfície plana de um metro quadrado de área, sobre a qual incide perpendicularmente um fluxo luminoso de um lúmen, uniformemente distribuído” (NBR 5461, 1991, p.9).

2.4 Luminância

“É a relação entre a intensidade luminosa com a qual irradia, em uma direção determinada, uma superfície elementar contendo um ponto dado e a área aparente desta superfície para uma direção considerada, quando esta área tende para zero” (MAMEDE FILHO, 2002, p.38).

A capacidade de percepção da luz é na verdade a percepção de diferentes luminâncias, pois a luminância pode ser interpretada como a medida da sensação de claridade percebida pelo cérebro.

2.5 Eficiência luminosa

É a relação entre o fluxo luminoso emitido por uma fonte de luz e a potência elétrica consumida no processo. Ou ainda, “é a relação dos lumens emitidos pela lâmpada para cada watt consumido” (CREDER, 2007, p.162).

Dessa forma, a unidade de eficiência luminosa é lumen por watt, ou lm/W.

2.6 Temperatura de cor

“É a grandeza que expressa a aparência de cor de uma luz” (MOREIRA, 1999, p.21). A unidade é o kelvin (K). As “cores quentes” têm temperatura de até 3.000 K, as “cores neutras” têm temperaturas entre 3.000 K e 6.000 K, e as “cores frias” para temperaturas acima de 6.000 K. A luz natural emitida pelo sol, ao meio dia, tem uma temperatura de 5.800 K. De forma geral, as “cores quentes” têm aspecto amarelado, e as “cores frias” realçam os azuis e seus derivados.

2.7 Índice de reprodução de cor (IRC)

É a medida da percepção da cor aparente de um objeto sob uma fonte de luz, comparando-se com a sua cor real. O índice corresponde a um número entre zero e cem, sendo que quanto maior esse valor, maior é a facilidade do olho humano de perceber as cores com uma iluminação artificial.

2.8 Nível médio de iluminância

É a média aritmética, em uma área, dos valores de iluminância em todos os pontos dessa região. Matematicamente tem-se a equação (2).

$$E_{méd} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (2)$$

2.9 Fator de uniformidade da iluminância

É a razão entre o nível mínimo de iluminância ($E_{mín}$) e o nível médio de iluminância ($E_{méd}$) em uma determinada área. É calculado pela equação (3).

$$Uniformidade = \frac{E_{mín}}{E_{méd}} \quad (3)$$

3 MÉTODOS DE CÁLCULO DE ILUMINAÇÃO

Segundo Creder (2007) há três maneiras principais para o cálculo de iluminação em um determinado ambiente: método dos lumens, método das cavidades zonais e o método de ponto por ponto. Esses métodos são apresentados a seguir.

3.1 Método dos lumens

O método dos lumens é uma das formas mais comuns para a elaboração de projetos de iluminação de interiores. Ele é dividido em etapas que estão detalhadas a seguir:

- a) seleção da iluminância: de acordo com a NBR 5413 (ABNT, 1992), para cada atividade e ambiente há um nível de iluminância recomendado. Esses valores podem ser consultados em tabelas que se encontram na norma citada, a Tabela 1 exemplifica alguns casos.

Tabela 1 – Nível de iluminância recomendado

Atividades	Iluminância [lx]		
	Baixa	Média	Alta
Auditórios e anfiteatros			
Tribuna	300	500	750
Plateia	100	150	200
Salas de espera			
Bilheterias	300	150	750
Bancos			
Atendimento ao público	300	500	750
Contabilidade			
Recepção	100	150	200
Guichês	300	500	750
Arquivos	200	300	500
Bibliotecas			
Sala de leitura	300	500	750
Estantes	200	300	500
Fichário	200	300	500

- b) determinação do índice do local: esse índice depende das dimensões do ambiente em estudo no projeto, comprimento, largura e distância entre a luminária e o plano de trabalho de acordo com o tipo de iluminação (direta, semidireta, indireta e semi-indireta). É calculado pela equação (4).

$$k = \frac{l \cdot c}{h_m \cdot (l + c)} \quad (4)$$

sendo:

k: índice do local;

l: largura do local [m];

c: comprimento do local [m];

h_m : altura de montagem da luminária [m].

- c) determinação do coeficiente de utilização: esse coeficiente relaciona o fluxo luminoso inicial, proveniente da luminária, e o fluxo recebido no plano de trabalho. Depende do índice do local (k) e da refletância, sendo que a refletância pode ser obtida pela tabela a seguir, representando valores para a tonalidade da superfície, seguindo a sequência teto, parede e piso. Por exemplo, a refletância 753 significa que o teto é branco, a parede é clara e o piso é de média tonalidade.

Tabela 2 – Determinação da refletância

Índice	Reflexão (%)	Tonalidade
1	10	Superfície escura
3	30	Superfície média
5	50	Superfície clara
7	70	Superfície branca

Dessa forma, a partir do índice do local (k) e da refletância pode-se determinar o coeficiente de utilização, consultando tabelas e catálogos de fabricantes de luminárias.

- d) determinação do fator de depreciação: esse fator considera o fluxo luminoso inicial e o fluxo após o período de manutenção da luminária. Isso depende do intervalo de manutenção e características do ambiente (limpo, normal ou sujo). Pode-se determinar esse fator pela Tabela 3.

Tabela 3 – Determinação do fator de depreciação

Características do Ambiente	Período de Manutenção (h)		
	2.500	5.000	7.500
Limpo	0,95	0,91	0,88
Normal	0,91	0,85	0,80
Sujo	0,80	0,66	0,57

- e) cálculo do fluxo luminoso total e do número de luminárias: a partir das informações obtidas nas etapas anteriores, pode-se determinar o fluxo luminoso total para atender as condições de projeto pela equação (5).

$$\phi = \frac{S \cdot E}{u \cdot d} \quad (5)$$

sendo:

ϕ : fluxo luminoso total [lm];

S: área do local [m²];

E: nível de iluminamento [lx];

u: coeficiente de utilização;

d: fator de depreciação.

O número de luminárias é então calculado pela equação (6).

$$n = \frac{\phi}{\varphi} \quad (6)$$

sendo:

n: número de luminárias;

ϕ : fluxo luminoso total [lm];

φ : fluxo por luminária [lm].

- f) distribuição das luminárias: com o número de luminárias já definido, deve-se distribuí-las no ambiente de forma mais simétrica possível, ou seja, a distância entre a luminária e a parede deve ser metade da distância entre as luminárias.

3.2 Método das cavidades zonais

Esse método é utilizado em projetos de iluminação de interiores e é fundamentado na teoria de transferência de fluxo, em que as superfícies refletem o fluxo luminoso de maneira eficiente. O teto, as paredes e o piso do ambiente a ser iluminado atuam como superfícies refletoras, que recebem o nome de cavidades zonais. A aplicação desse método só é justificada em ambientes que exigem alta precisão nos cálculos, como instalações de alto padrão técnico.

O fluxo luminoso, quando utilizado o método das cavidades zonais, é determinado pela equação (7).

$$\phi = \frac{E \cdot S}{u \cdot FPL} \quad (7)$$

O coeficiente de utilização (u) é dependente do local de estudo através da razão de cavidade para o teto (RCT), recinto (RCR) e piso (RCP), que são determinados pelas equações (8), (9) e (10).

$$RCT = \frac{5 \cdot h_T \cdot (l + c)}{l \cdot c} \quad (8)$$

$$RCR = \frac{5 \cdot h_R \cdot (l + c)}{l \cdot c} \quad (9)$$

$$RCP = \frac{5 \cdot h_P \cdot (l + c)}{l \cdot c} \quad (10)$$

sendo:

c : comprimento do recinto [m];

l : largura do recinto [m];

h_T : distância entre o plano das luminárias e o teto [m];

h_R : distância entre o plano de trabalho e o plano das luminárias [m];

h_P : distância entre o piso e o plano de trabalho [m].

No caso em que o recinto tenha uma forma irregular, as três equações anteriores deverão ser conforme a equação (11).

$$RC = \frac{2,5 \cdot \text{altura da cavidade} \cdot \text{perímetro da cavidade}}{\text{área da cavidade}} \quad (11)$$

Para se determinar o fator de perdas de luz (FPL), é utilizada a equação (12).

$$FPL = TA \cdot TS \cdot FR \cdot FSL \cdot FDS \cdot FQL \cdot FDL \cdot FDSL \quad (12)$$

sendo:

TA: temperatura do ambiente;

TS: tensão de serviço;

FR: reator;

FSL: depreciação da superfície da luminária;

FDS: depreciação devido à sujeira;

FQL: queima de lâmpadas;

FDL: depreciação dos lumens da lâmpada;

FDSL: depreciação devido à sujeira da luminária.

A partir dos dados obtidos e calculados até esta etapa, determina-se o fluxo luminoso total utilizando-se a equação (7). Conhecendo-se então o fluxo luminoso, pode-se obter o número de luminárias necessárias para o ambiente em estudo.

3.3 Método de ponto por ponto

Esse método pode ser utilizado tanto para projetos em ambientes interiores como em ambientes exteriores e é fundamentado nas leis de Lambert. Em qualquer ponto da superfície do ambiente em estudo pode-se calcular a iluminância devido a qualquer luminária ou fonte de luz presente. A iluminância total em cada ponto será a soma algébrica da iluminância devido a cada luminária que possa iluminar o ponto considerado. Esse método é trabalhoso, porém preciso, sendo bastante adequado o uso de microcomputadores.

A iluminância pode ser definida pela equação (13).

$$E_H = \frac{I \cdot \cos^3 \alpha}{h^2} \quad (13)$$

sendo:

E_H : iluminamento horizontal [lx];

I : intensidade luminosa [cd];

α : ângulo entre uma dada direção do fluxo luminoso e a vertical que passa pelo centro da lâmpada;

h : altura vertical da luminária [m].

A intensidade luminosa pode ser obtida pela curva de distribuição luminosa da luminária, em que a intensidade é dada em função do ângulo α . A Figura 1 representa a curva de distribuição luminosa para uma luminária qualquer. Nota-se que para um dado ângulo α obtém-se um valor em candelas por mil lumens, que deve ser multiplicado pelo fluxo luminoso inicial da luminária, obtendo-se assim o valor de intensidade luminosa.

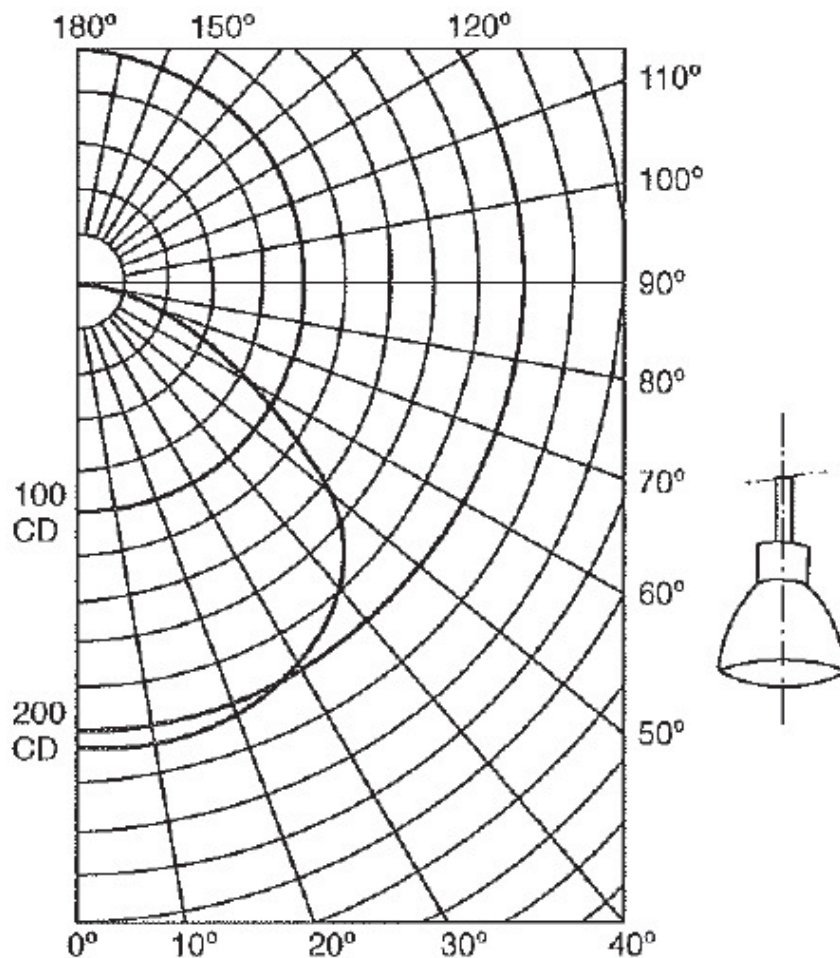


Figura 1 – Curva de distribuição luminosa em candelas por mil lumens (CREDER, 2007)

3.4 Método computacional – *software* DIALux

Os métodos apresentados anteriormente são amplamente utilizados, e bem descritos na literatura. A seguir é apresentado um método computacional, utilizando o *software* DIALux. Os *softwares* utilizam os métodos já conhecidos, porém de uma maneira mais rápida e menos susceptível a erros, dispensando o projetista de exaustivos cálculos.

O *software* DIALux possui uma interface gráfica bastante intuitiva, de tal forma que não é necessário um longo treinamento para a sua utilização. É bastante utilizado em diversos países, é gratuito e disponível em variados idiomas. Possibilita a interação com outros *softwares*, de tal forma que uma planta baixa em *computer-aided design* (CAD) – desenho auxiliado por computador pode ser utilizada no DIALux.

Esse *software* possibilita que sejam realizados projetos em áreas internas, áreas externas, espaços esportivos, ruas e avenidas. Os projetos podem ser feitos considerando a luz das luminárias, ou a luz natural, ou então luz de emergência.

Os catálogos dos mais diversos fabricantes de lâmpadas estão disponíveis para o *software*, de tal forma que o projetista tem uma grande disponibilidade de modelos de luminárias para serem utilizados. Uma vez que esses parâmetros foram definidos o projeto pode ser iniciado, e os resultados podem ser visualizados antes mesmo de o projeto ser finalizado. O resultado final é bastante ilustrativo, sendo uma simulação bastante satisfatória para visualizar como o projeto é realizado.

A Figura 2 representa a interface do *software*, pode-se notar que as abas de navegação lateral facilitam a utilização pelo usuário. Quando o projeto é finalizado são gerados vários documentos, gráficos e mapas, demonstrando os valores calculados das mais diversas formas. Exemplos desses documentos gerados pelo DIALux podem ser visualizados no Anexo A desse Trabalho de Graduação.

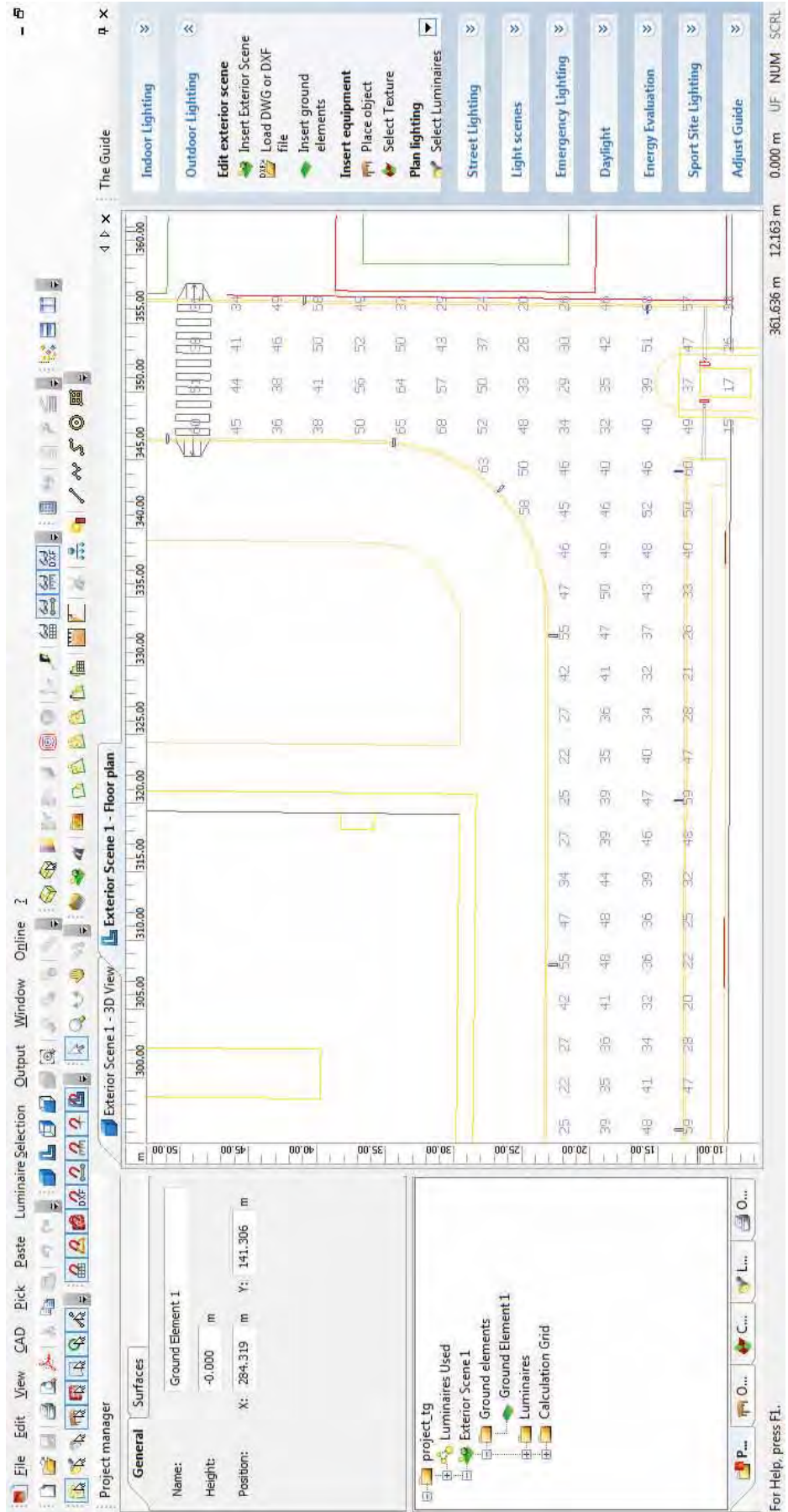


Figura 2 – Interface do software DIALux (DIALux, 2011)

4 TECNOLOGIAS DE ILUMINAÇÃO

As lâmpadas elétricas podem ser classificadas como:

- incandescentes;
- descargas;
- estado sólido – LED.

4.1 Lâmpada incandescente

4.1.1 Lâmpada incandescente convencional

Essas lâmpadas são compostas por um filamento espiralado, que quando conduz corrente elétrica fica incandescente devido ao efeito Joule. A oxidação do filamento é evitada pelo gás inerte presente no bulbo.

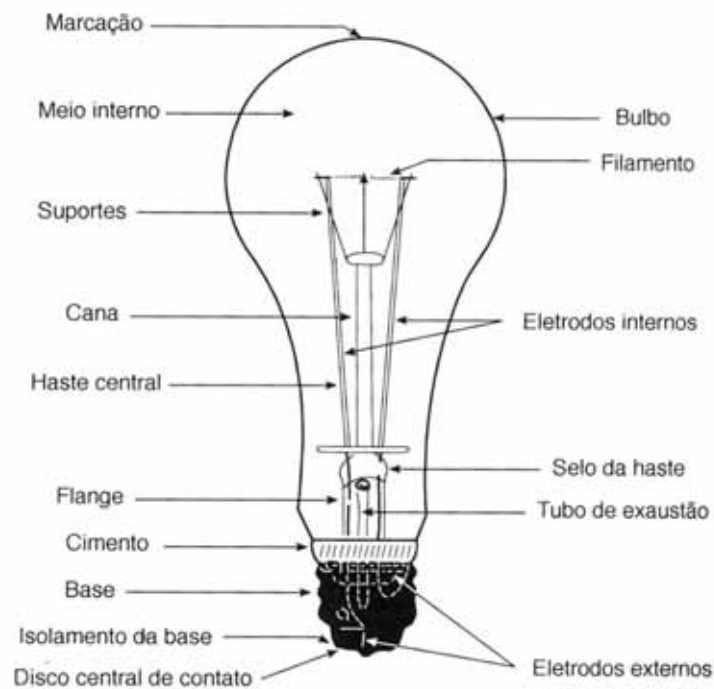


Figura 3 – Lâmpada incandescente (CREDER, 2007)

Segundo Moreira (1999) as primeiras lâmpadas incandescentes industriais são de 1881, sendo o filamento de papel carbonizado. Posteriormente, foram utilizados como filamentos ósmio, tântalo e tungstênio. Em 1911, com o desenvolvimento da técnica da trefilação do

tungstênio, podiam-se atingir temperaturas mais elevadas devido à produção de filamentos mais robustos. O tungstênio tem um ponto de fusão próximo de 3.400 °C, e esta temperatura não é atingida nem pelas lâmpadas de maior potência.

Algumas características que se destacam nas lâmpadas incandescentes são a temperatura de cor entre 2.300 e 2.800 K, um IRC de valor cem, vida útil de aproximadamente mil horas e eficiência luminosa média de 15 lm/W.

O uso de lâmpadas incandescentes em projetos industriais é cada vez menor devido a algumas características como custos de manutenção, baixa eficiência luminosa e vida útil reduzida.

4.1.2 Lâmpada halógena

Lâmpadas halógenas são lâmpadas incandescentes aperfeiçoadas, sendo o bulbo de quartzo e o interior preenchido com iodo ou bromo. Segundo Moreira (1999), quando a lâmpada entra em funcionamento o tungstênio evapora do filamento e em contato com o halogênio presente no interior do bulbo forma o iodeto de tungstênio, ou outra substância equivalente. Esse composto circula no interior do bulbo devido a correntes de convecção, até que entre em contato com o filamento novamente, de tal forma que o iodeto decompõe-se e o tungstênio deposita-se recompondo o filamento. O halogênio que foi liberado começa o ciclo novamente.



Figura 4 – Lâmpada halógena tipo dicróica (MOREIRA, 1999)

Essas modificações na estrutura da lâmpada trazem benefícios como maior vida útil, ausência do enegrecimento do bulbo, menores dimensões, maior eficiência luminosa e fluxo

luminoso de maior temperatura de cor. As lâmpadas halógenas apresentam um maior índice de emissão de radiação ultravioleta, sendo então conveniente o uso de lente frontal na luminária para reduzir o desgaste de materiais próximos a ela.

4.2 Lâmpada a descarga

Segundo Moreira (1999) a emissão de luz nessas lâmpadas é dada pela radiação emitida pela descarga elétrica no interior do tubo, através de uma mistura gasosa composta por gases inertes e vapores metálicos. Há filamentos nas extremidades do tubo que iniciam a descarga elétrica, liberando elétrons que ao se chocarem com os átomos dos gases liberam energia na forma de luz ultravioleta. Essa radiação é convertida em luz visível devido ao material fluorescente presente no interior do tubo. As lâmpadas a descarga necessitam de um reator para fornecer a sobretensão necessária na partida e limitar a corrente elétrica.

4.2.1 Lâmpada fluorescente

São lâmpadas de baixa pressão, entre 1 Pa e 10 Pa, em que é utilizado vapor de mercúrio. São conhecidas como fluorescentes devido à utilização de cristais de fósforo no interior dos tubos. Essas lâmpadas são comercializadas em formato tubular e compacta. As tubulares são diferenciadas de acordo com o seu diâmetro em oitava de polegadas antecedido pela letra T. Por exemplo, a lâmpada T5 possui 5/8” de diâmetro.



Figura 5 – Lâmpadas fluorescentes (MOREIRA, 1999)

As lâmpadas fluorescentes apresentam características, em geral, superiores as lâmpadas incandescentes. Sendo maior o tempo de vida útil, maior eficiência luminosa e maior fluxo luminoso. As desvantagens são o menor IRC, em relação a lâmpada incandescente e menor fator de potência, ocasionando a geração de harmônicos na rede.

4.2.2 Lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão

As lâmpadas vapor de mercúrio tem o princípio de funcionamento semelhante ao das lâmpadas fluorescentes. Segundo Moreira (1999) há um bulbo externo, constituído de quartzo, com a função de reduzir as perdas de calor para o ambiente e um tubo de arco onde ocorrem as descargas elétricas. São utilizados dois tubos, pois para haver uma operação eficiente necessita-se de alta temperatura no tubo em que ocorrem as descargas elétricas. Entre os dois bulbos é inserido gás nitrogênio, com a função de isolar termicamente.

Uma desvantagem da lâmpada de vapor de mercúrio é que uma vez que a lâmpada é apagada necessita-se de um tempo de três a dez minutos para que a temperatura diminua suficientemente para que o mercúrio seja reionizado. Dessa forma, a aplicação dessa tecnologia em iluminação só é justificável em ambientes em que as lâmpadas devem funcionar por longos períodos, como no caso da iluminação de vias públicas.



Figura 6 – Lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão (COTRIM, 2009)

4.2.3 Lâmpada de vapor de sódio

As lâmpadas de vapor de sódio (VS) são semelhantes às lâmpadas de vapor de mercúrio, com algumas diferenças estruturais. Segundo Moreira (1999) é utilizado óxido de alumínio sintetizado na fabricação da ampola interna, sendo esse um material cerâmico com ponto de fusão de 2.050 °C, resistente quimicamente ao vapor de sódio em alta pressão e translúcido. O vácuo existente entre o bulbo externo e o tubo de descarga tem a função de diminuir as perdas térmicas, o que aumenta a eficiência luminosa da lâmpada. Há a necessidade de um ignitor para a partida da lâmpada que aplica pulsos de tensão na ordem de três mil volts em intervalos na ordem de microssegundos.

As lâmpadas de vapor de sódio apresentam uma vida média na ordem de vinte e quatro mil horas e uma alta eficiência energética. Uma desvantagem dessa tecnologia de iluminação é o baixo índice de reprodução de cor, na ordem de vinte, sendo característica a cor dourada, cuja temperatura de cor é de 2.300 K. Essa característica restringe o uso das lâmpadas de vapor de sódio a locais em que a fidelidade das cores não seja relevante.



Figura 7 – Lâmpadas de vapor de sódio (PHILIPS, 2009)

4.2.4 Lâmpada de vapor metálico

Essa lâmpada é semelhante a vapor de mercúrio, sendo que são utilizados no interior do tubo iodeto de índio, tálio e sódio além do mercúrio. Essa composição de variados metais proporciona um melhor IRC, comparando-se com outras lâmpadas a descarga, com valor de até 90%, além de maior eficiência luminosa e uma temperatura de cor entre quatro mil e seis

mil Kelvin. Essa tecnologia de iluminação, assim como a lâmpada de vapor de sódio, necessita de um ignitor para o seu funcionamento. O tempo de partida é de cinco a dez minutos e o de nova partida a quente até trinta minutos para as lâmpadas de maior potência.

São utilizadas tanto em áreas externas como internas, como avenidas, monumentos, estádios, quadras esportivas, estacionamentos, fachadas, sambódromos, galpões industriais e ginásios de esportes.



Figura 8 – Lâmpadas a vapor metálico (PHILIPS, 2009)

4.3 Lâmpada de estado sólido – LED

Segundo Cotrim (2009) o diodo emissor de luz (LED) é um semicondutor constituído de uma junção P-N capaz de emitir luz quando é energizado. Na região próxima à junção P-N elétrons e lacunas recombina-se, utilizando energia proveniente dos elétrons. Essa energia pode ser liberada na forma de fótons ou de calor. De acordo com as impurezas presentes no LED o comprimento de onda da luz emitida varia, de tal forma que se pode escolher as bandas das cores desejadas. Por exemplo, quando o LED é dopado com arseneto de gálio é emitida energia infravermelha. As cores vermelho e amarelo podem ser obtidas pelo fósforo. Com o fosfeto de gálio e nitrogênio obtém-se verde ou amarelo, dependendo da concentração da substância. A cor branca pode ser obtida a partir do LED emissor de luz azul, sendo revestido por uma camada de fósforo, como nas lâmpadas fluorescentes. Essa camada tem a função de absorver a luz azul e emitir a luz branca. Outra forma de se obter a luz branca é por meio dos LEDs RGB, em que são combinados o vermelho (R de *red*), o verde (V de *green*) e o azul (B de *blue*). Pode-se ressaltar ainda que para cada cor desejada haverá um nível de tensão para a alimentação do LED, sendo esse nível entre 1,6 e 3,3 V.

Uma grande vantagem da tecnologia LED é a ausência de um filamento, como acontece nas lâmpadas incandescentes, o que aumenta consideravelmente a vida útil dessas lâmpadas, atingindo valores próximos a cem mil horas. Outras vantagens a serem destacadas são o alto rendimento e o elevado fator de potência, quando comparado com lâmpadas fluorescentes.



Figura 9 – Lâmpada LED (CREDER, 2007)

5 ESTUDO DE CASO

5.1 Objetivo

Este estudo de caso analisa o projeto luminotécnico de uma área externa da Refinaria Ramos Pedroso I, composta por vias e estacionamentos, que utiliza lâmpadas de vapor de sódio. O objetivo deste estudo de caso é analisar a viabilidade da utilização de tecnologia LED para o iluminamento desta área.

5.2 Refinaria Ramos Pedroso I

Esta refinaria é um projeto da empresa Ramos Pedroso S/A, que será construída no município de City. A refinaria será ligada ao Porto de Port, por cerca de sessenta quilômetros de dutos. Esta é uma localização estratégica de distribuição tanto para o mercado externo quanto o interno. O objetivo desse empreendimento é reduzir a exportação do petróleo nacional na forma bruta e produzir derivados combustíveis de alta qualidade em território nacional, como óleo diesel premium, gás liquefeito de petróleo (GLP) e nafta petroquímica, que possuem maior valor agregado do que o petróleo bruto. Inicialmente o projeto era refinar o óleo pesado extraído da Bacia de Campos, porém foi adaptado para refinar também o óleo extraído da camada pré-sal. Com um investimento na ordem de vinte bilhões de dólares americanos, a Refinaria Ramos Pedroso I deve ser a maior refinaria do Brasil e uma das maiores do mundo. As obras serão divididas em duas fases, sendo que a primeira tem uma previsão de entrar em operação no ano de 2016.

5.3 NBR 5101 (ABNT) Iluminação pública

Esse estudo de caso analisa apenas o projeto de iluminação da área externa da Refinaria Ramos Pedroso I, apesar de a refinaria ser composta por vários edifícios. Devido a essas propriedades apresentadas, esse projeto é caracterizado como de iluminação pública, sendo então regido pela norma NBR 5101 (ABNT, 1992). De acordo com essa norma as vias públicas podem ser classificadas em vias rurais, vias de ligação, vias urbanas e vias especiais, sendo ainda que as vias urbanas subdividem-se em vias principais, vias normais, vias secundárias e vias irregulares. As vias desse projeto podem ser classificadas como vias

principais, que são definidas como “avenidas e ruas asfaltadas ou calçadas, onde há predominância de construções comerciais, assim como trânsito de pedestres e de veículos” (NBR 5101, 1992, p.2).

As vias também são classificadas em função do volume de tráfego, tanto para veículos como para pedestres. As vias desse projeto podem ser classificadas como de volume de tráfego motorizado leve, pois o número de veículos por hora, em ambos os sentidos, em pista única, no período entre 18 h e 21 h não deve ser superior a quinhentos. A classificação quanto ao volume de tráfego de pedestres é médio, pois deve se assemelhar ao de vias comerciais secundárias.

Tabela 4 – Índices mínimos para vias principais (NBR 5101, 1992)

		Veículo					
		Leve		Médio		Intenso	
		$E_{\text{méd. mín.}}$ [lx]	$U_{\text{mín.}}$	$E_{\text{méd. mín.}}$ [lx]	$U_{\text{mín.}}$	$E_{\text{méd. mín.}}$ [lx]	$U_{\text{mín.}}$
Pedestre	Leve	2	0,2	5	0,2	10	0,2
	Médio	5	0,2	8	0,2	12	0,2
	Intenso	10	0,2	12	0,2	16	0,25

De acordo com a Tabela 4, as vias desse projeto devem ter iluminação médio mínimo de cinco lux, e índice de uniformidade mínimo de 0,2. Os projetos apresentados nesse Trabalho de Graduação têm esses índices acima do mínimo especificado por essa norma, proporcionando uma visibilidade mais adequada e confortável aos usuários.

5.4 Projeto utilizando tecnologia vapor de sódio

Este é o projeto original desenvolvido para a Refinaria Ramos Pedroso I, sendo seguidas as exigências feitas pela empresa. É importante destacar que o estudo feito nesse momento é denominado projeto básico, em que são analisados aspectos gerais, sem detalhes necessários para a implantação. Isso apenas é abordado em uma segunda etapa, denominado projeto executivo, que deve prever todos os detalhes para a instalação ou construção dos equipamentos e dispositivos na refinaria. Vale destacar que atualmente a Refinaria Ramos Pedroso I encontra-se em fase de projeto básico, e que o projeto executivo ainda não foi iniciado.

Foi uma recomendação da Ramos Pedroso S/A a utilização de lâmpadas de vapor de sódio de 250 W para a iluminação da área externa. Como já descrito anteriormente essa tecnologia tem alta eficiência energética, apresentando-se uma das soluções em iluminação em áreas externas mais utilizadas atualmente. Uma desvantagem da utilização das lâmpadas de vapor de sódio é o índice de reprodução de cor baixo, o que restringe o uso dessa tecnologia a locais em que a fidelidade de cores não é relevante. Por se tratar de vias de tráfego e estacionamentos, um alto IRC não é fundamental neste projeto.

A solução apresentada, que é encontrada no Anexo C, foi desenvolvida através de *software*, sendo que as luminárias foram distribuídas para se obter o melhor valor de iluminância utilizando o menor número de luminárias. No estacionamento de ônibus optou-se pelo uso de projetores, conforme pode ser observado na Figura 10. Nessa figura são representados pontos com o valor da iluminância em lux no solo.

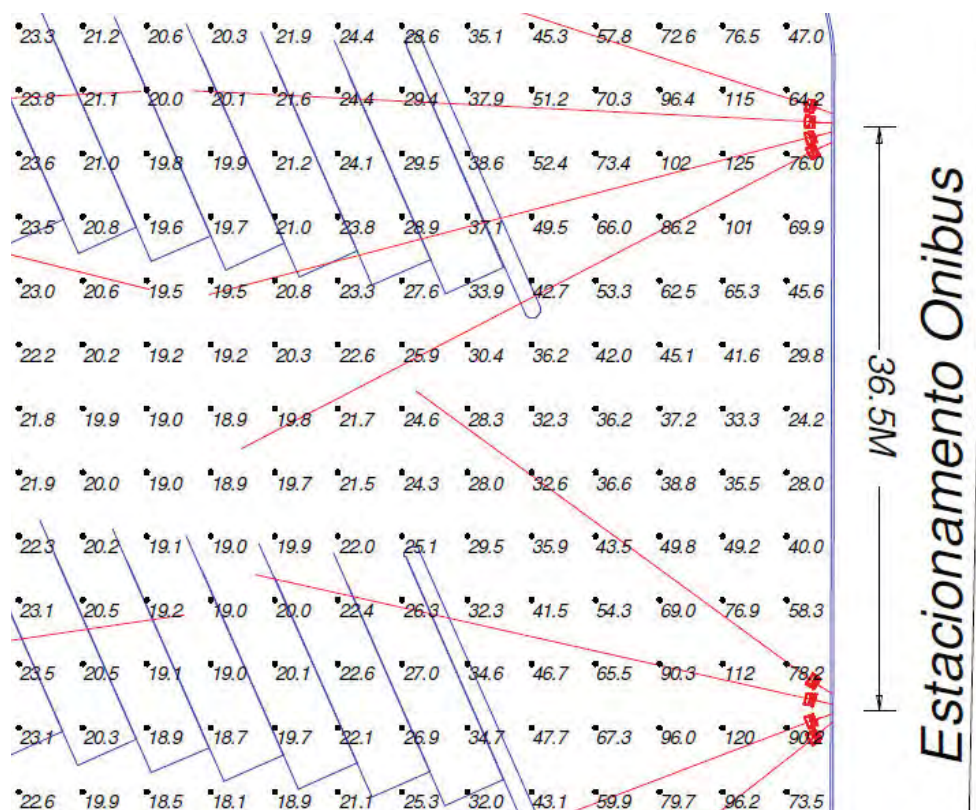


Figura 10 – Detalhe do projeto em lâmpada de vapor de sódio (DIALux, 2011)

Os projetores utilizam lâmpadas de vapor de sódio de 400 W, com um fluxo luminoso de 48.000 lumens, enquanto que as luminárias utilizadas nos demais locais têm 28.000 lumens. Isso resulta em uma eficiência luminosa de 120 lm/W para as lâmpadas de maior potência e 112 lm/W para as lâmpadas de 250 W. A vida mediana dessas lâmpadas, segundo

o fabricante, é de 24.000 horas. O reator para a lâmpada de vapor de sódio de 250 W tem uma potência de 24 W e o reator necessário para a lâmpada de 400 W tem uma potência de 32 W. As informações sobre as lâmpadas utilizadas estão resumidas na Tabela 5. A Figura 7 representa a lâmpada tubular utilizada nesse projeto.

Tabela 5 – Dados das lâmpadas de vapor de sódio (Philips, 2009)

Informações	Luminária padrão	Projetor
Fabricante	Philips	Philips
Modelo	SON-T250W-N	SON-T400W-N
Potência	250 W	400 W
IRC	25	25
Temperatura de cor	1950 K	1950 K
Fluxo luminoso	28.000 lm	48.000 lm
Eficiência luminosa	112 lm/W	120 lm/W
Vida mediana	24.000 h	24.000 h

A altura de montagem é de oito metros para as luminárias padrões e de 12 metros para os projetores. Outro detalhe do projeto que pode ser citado é o grau de inclinação das luminárias, sendo que as luminárias padrões utilizam dez graus e os projetores aproximadamente 68 graus. O número total de luminárias padrão que foram utilizadas nesse projeto é 72, e o número de projetores é 16. Esses dados estão resumidos na Tabela 6.

Tabela 6 – Dados dos equipamentos do projeto a vapor de sódio

Luminária	Quantidade	Potência [W]	Altura de montagem [m]
Luminária padrão	72	250	8
Reator	72	24	-
Projetor	16	400	12
Reator	16	32	-

Dessa forma a potência total instalada nesse projeto é:

$$P = 72 \cdot (250 + 24) + 16 \cdot (400 + 32) = 26.640 \text{ W} \quad (14)$$

A Tabela 7 apresenta alguns dados obtidos pelo *software* para esse projeto, em que se pode destacar a iluminância média de 40,9 lx e o fator de uniformidade de 0,35.

Tabela 7 – Iluminância no projeto a vapor de sódio

Grade de cálculo	Avg [lx]	Max [lx]	Min [lx]	Min/Avg
Arruamento	39,3	92,8	14,3	0,36
Estacionamento ônibus	40,6	128,0	16,6	0,41
Estacionamento carros	47,7	143,0	14,2	0,30
Total	40,9	143,0	14,2	0,35

sendo:

Avg: iluminância média;

Max: iluminância máxima;

Min: iluminância mínima;

Min/Avg: uniformidade da iluminância.

A implementação do projeto considera a instalação das luminárias, lâmpadas, reatores e postes. Os valores estimados para cada item e os valores totais são demonstrados na Tabela 8. Como pode ser observado, o valor total da lista de materiais para esse projeto é de R\$ 79.747,03. Não são considerados outros custos como cabos e mão-de-obra.

Tabela 8 – Valores para o projeto a vapor de sódio

Item	Quantidade	Preço unitário	Preço total
Luminária pública padrão	72	R\$ 202,00	R\$ 14.544,00
Poste reto de 8 m	63	R\$ 669,13	R\$ 42.155,19
Suporte central para uma pétala	54	R\$ 26,91	R\$ 1.453,14
Suporte central para duas pétalas	9	R\$ 39,18	R\$ 352,62
Lâmpada de vapor de sódio de 250 W	72	R\$ 37,90	R\$ 2.728,80
Reator para lâmpada de 250 W	72	R\$ 80,00	R\$ 5.760,00
Projetor simétrico	16	R\$ 174,27	R\$ 2.788,32
Poste reto de 12 m	4	R\$ 1.722,64	R\$ 6.890,56
Cruzeta para quatro projetores em linha	4	R\$ 185,00	R\$ 740,00
Lâmpada de vapor de sódio de 400 W	16	R\$ 45,90	R\$ 734,40
Reator para lâmpada de 400 W	16	R\$ 100,00	R\$ 1.600,00
Total			R\$ 79.747,03

5.5 Projeto utilizando tecnologia LED

A seguir é apresentada a solução utilizando tecnologia LED para o projeto da Refinaria Ramos Pedroso I. Essa proposta não faz parte do projeto elaborado pela Ramos Pedroso S/A ou pelas empresas por ela contratada, sendo apenas uma solução alternativa proposta por esse Trabalho de Graduação. Como já descrito anteriormente essa tecnologia destaca-se pelo maior tempo de vida útil e boa eficiência energética. Com os constantes avanços em pesquisas, as luminárias LEDs demonstram-se promissoras, e deseja-se verificar sua aplicabilidade nesse projeto.

A solução utilizando tecnologia LED foi feita com o *software* DIALux, pois é uma ferramenta prática e visual. Assim como no projeto que utiliza lâmpadas de vapor de sódio, a distribuição, o posicionamento e a altura de montagem da luminária são feitos para se obter a melhor iluminância com o menor número possível de luminárias. Para uma melhor comparação entre esses projetos procurou-se manter no novo projeto, com luminárias LED, a mesma iluminância média do projeto anteriormente apresentado, ou seja, um valor próximo a 40,9 lx. A Figura 11 representa um trecho do projeto utilizando luminárias de estado sólido conforme é visualizado pelo *software* DIALux.

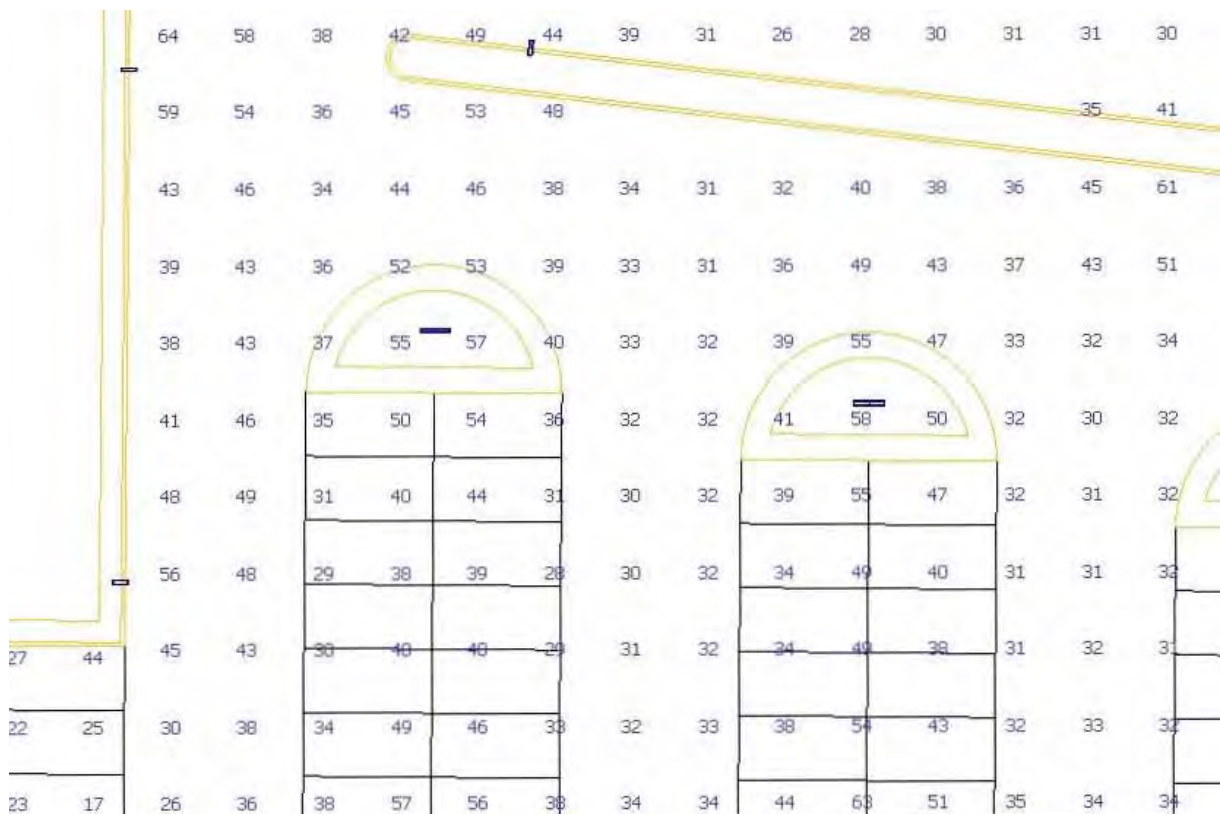


Figura 11 – Detalhe do projeto com luminária LED (DIALux, 2011)

Foram comparadas algumas luminárias com tecnologia LED de diferentes fabricantes e diferentes modelos, a luminária utilizada apresenta melhor custo benefício de acordo com simulações realizadas no *software* DIALux. Essa luminária é a APL42 fornecida pela Vialuz, sendo recomendada para substituir luminárias de vapor de sódio de 250 W. Essa luminária é composta por 42 LEDs com uma potência total de 92 W. O fluxo luminoso é de 8.340 lm, o que resulta em uma eficiência luminosa de 90,65 lm/W. A vida útil dessa luminária é de cinquenta mil horas. A Figura 12 ilustra a luminária APL42.



Figura 12 – Luminária APL42 (<www.vialuz.net>, 2011)

Como pode ser observado no Anexo A foram utilizadas 186 luminárias no projeto, portanto a potência instalada é:

$$P = 186 \cdot 92 = 17.112 \text{ W} \quad (15)$$

Os valores de iluminância média, mínima e máxima, além da uniformidade para esse projeto estão representados na Tabela 9.

Tabela 9 – Iluminância no projeto a LED

Grade de cálculo	Avg [lx]	Max [lx]	Min [lx]	Min/Avg
Total	40	123	14	0,35

A Figura 13 mostra a Distribuição de Iluminância obtida pelo *software* DIALux.

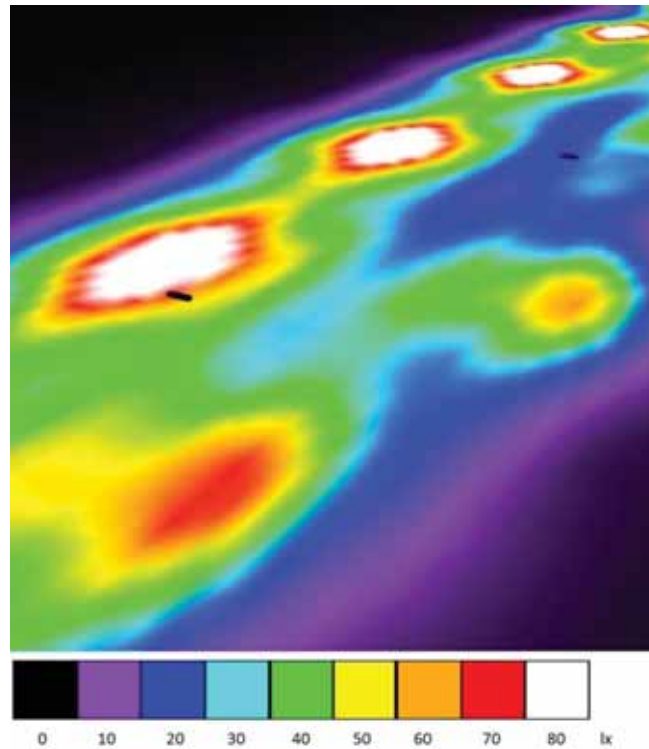


Figura 13 – Distribuição de Iluminância da lâmpada LED (DIALux, 2011)

Ainda observando o projeto realizado pelo *software* DIALux nota-se que foram utilizados: 82 postes de cinco metros de altura que suportam uma pétala de luminária, vinte postes de oito metros de altura que suportam uma única luminária, 14 postes de oito metros de altura que suportam duas pétalas, 16 postes de cinco metros de altura que suportam duas pétalas e oito postes de oito metros de altura que suportam três pétalas. Dessa forma os valores de cada item e o valor total para a implementação desse projeto são descritos na Tabela 10.

Tabela 10 – Valores para o projeto a LED

Item	Quantidade	Preço unitário	Preço total
Luminária LED	186	R\$ 1950,00	R\$ 362.700,00
Poste reto de 5 m	98	R\$ 567,95	R\$ 55.659,10
Poste reto de 8 m	42	R\$ 669,13	R\$ 28.103,46
Suporte central para uma pétala	102	R\$ 26,91	R\$ 2.744,82
Suporte central para duas pétalas	30	R\$ 39,18	R\$ 1.175,40
Suporte central para três pétalas	8	R\$ 63,16	R\$ 505,28
Total			R\$ 450.888,06

6 ANÁLISE DE DADOS

Esse capítulo apresenta uma análise da viabilidade das soluções determinadas anteriormente para esse projeto. São apresentadas as vantagens e as desvantagens de cada solução, possibilitando fazer conclusões sobre a melhor alternativa a ser escolhida e possíveis relações com outros projetos e aplicações.

6.1 Análise econômica

A primeira comparação a ser feita é do ponto de vista econômico. Uma análise superficial concluiria que a tecnologia LED é muito mais custosa do que a vapor de sódio, baseando-se nos valores de investimento inicial, pois para as luminárias a vapor de sódio são investidos inicialmente R\$ 79.747,03 e para as luminárias LED são necessários R\$ 450.888,06 de investimento inicial. Porém, deve ser considerado o maior tempo de vida útil das luminárias LED e também o menor consumo de energia elétrica. Essa comparação pode ser vista na Tabela 11.

Tabela 11 – Dados para comparação de investimentos

Descrição	Vapor de sódio	LED
Potência total instalada	26.640 W	17.112 W
Durabilidade	24.000 h	50.000 h
Investimento inicial	R\$ 79.747,03	R\$ 450.888,06
Consumo de energia diário	319,68 kWh	205,344 kWh
Consumo de energia mensal	9.590,40 kWh	6.160,32 kWh
Custo de energia mensal	R\$ 4.795,20	R\$ 3.080,16
Custo de energia em 50.000 horas	R\$ 666.000,00	R\$ 427.800,00
Trocas em 50.000 horas	1	0
Custo estimado para trocas	R\$ 10.823,20	0
Custo total	R\$ 756.570,23	R\$ 878.688,06

O consumo de energia diário considerou 12 horas de iluminação. Para o custo de energia foi considerado o valor de R\$ 0,50 por kWh. A troca de equipamento considera a substituição das lâmpadas e dos reatores.

Como pode ser observado para um mesmo nível de iluminamento tem-se uma potência instalada menor no projeto de luminárias LED do que nas lâmpadas de vapor de sódio. Isso

resulta em um menor consumo de energia e em um valor bastante significativo de economia no final de cinquenta mil horas de utilização. Além disso, outra vantagem da tecnologia LED é a maior durabilidade, o que diminui os custos com manutenção.

Assim, do ponto de vista econômico, a solução em LED tem a desvantagem do alto investimento inicial. Porém quando são considerados outros gastos ao longo do tempo de utilização das luminárias pode-se notar que a diferença de investimento entre as duas soluções são bastante reduzidas. De tal forma que o custo total para a solução em LED é 16,14 % superior em relação à solução em lâmpadas de vapor de sódio, ou R\$ 122.117,83.

6.2 Análise dos aspectos luminotécnicos

Conforme citado anteriormente as lâmpadas de vapor de sódio possuem um fluxo luminoso de 28.000 lm e 48.000 lm para as lâmpadas de 250 W e 400 W respectivamente. Enquanto que as luminárias LED possuem um fluxo luminoso de 8.340 lm. Aparentemente a tecnologia LED produz um pior resultado do que as lâmpadas de vapor de sódio. Porém deve ser considerado que parte do fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas de vapor de sódio é disperso para o ambiente, enquanto que no caso das luminárias LED todo o fluxo luminoso é direcionado à área que deve ser iluminada. Assim, o completo direcionamento para a região que realmente deve ser iluminada compensa o menor fluxo luminoso nas lâmpadas LED.

Outro conceito luminotécnico importante a ser analisado é o IRC. Esse é um fator que apresenta grande diferença entre as lâmpadas LED e as lâmpadas de vapor de sódio. Enquanto que nas lâmpadas de vapor de sódio o IRC é 25, com uma luz de cor amarelada, nas lâmpadas LED é próximo de 75, sendo a luz branca, mais próxima à luz solar. Um melhor IRC proporciona maior segurança e mais conforto para as pessoas, permitindo que identifiquem as cores com mais facilidade e proporciona também um ambiente visualmente mais agradável. Dessa forma valoriza as áreas urbanas, o turismo noturno, parques e áreas de lazer, contribuindo para o desenvolvimento social e econômico das cidades.

O fator de uniformidade mínimo foi obtido no item 5.3 desse Trabalho de Graduação, sendo determinado pela NBR 5101 (ABNT). Ambos os projetos apresentaram um fator de uniformidade acima desse valor mínimo de 0,2. Porém, era esperado que o projeto com luminárias LED apresentasse um valor maior de fator de uniformidade do que o projeto que utilizou lâmpadas de vapor de sódio. O valor obtido para ambos os projetos foi 0,35. A uniformidade da iluminância para o projeto com luminárias LED pode ser analisada pela

Figura 13, em que se observa a variação de iluminância entre uma luminária e outra. Esse fator poderia ser melhorado com o aumento da altura da instalação das luminárias. Porém, isso acarretaria em uma diminuição da iluminância, o que tornaria inviável a comparação entre os dois projetos luminotécnicos apresentados.

6.3 Análise dos aspectos ambientais

O fenômeno descrito anteriormente, da dispersão da luz nas luminárias para cima ou para os lados, além de provocar desperdício de energia, provoca uma poluição luminosa nos arredores, privando a região próxima de plena escuridão. Isso ocorre nas lâmpadas de vapor de sódio, mas como descrito anteriormente, não ocorre nas luminárias LED. Segundo o Congresso Brasileiro de Automática (2010) a poluição luminosa impede a observação do céu nas grandes cidades e pode causar um desconforto visual para seus moradores, de tal forma que a redução dessa poluição acarreta em melhoria na qualidade de vida das pessoas.

Quando são consideradas questões ambientais é importante analisar os materiais que constituem o produto. Nas lâmpadas a descarga é comum o uso de metais pesados, entre outros materiais. Uma vantagem das lâmpadas LED é a ausência de metais pesados, como o mercúrio. Segundo o Congresso Brasileiro de Automática (2010) esse metal, o mercúrio, é volátil na temperatura ambiente, de tal forma que pode ser incorporado nos seres vivos por via respiratória, além da forma cutânea e por ingestão. Bactérias podem transformá-lo em metil-mercúrio, uma forma mais tóxica. É um metal muito prejudicial aos seres vivos e pode causar doenças patogênicas.

Conforme demonstrado anteriormente nesse Trabalho de Graduação as luminárias LED consomem menos energia do que as lâmpadas de vapor de sódio. Segundo o Congresso Brasileiro de Automática (2010) a produção de energia elétrica por meio de hidroelétricas ou por usinas termoelétricas produzem CO₂. Portanto, a escolha do projeto com tecnologia LED, entre outros fatores, leva a uma redução da emissão do dióxido de carbono. Esse gás é um dos causadores do efeito estufa, que pode ocasionar grandes problemas socioeconômicos e ecológicos, como a extinção de espécies mais sensíveis ao aumento da temperatura global e a inundação de terras costeiras situadas ao nível do mar, devido ao degelo das calotas polares.

As lâmpadas a vapor de sódio podem emitir radiações além da visível, como a ultravioleta e a infravermelha. Segundo Júnior e Lacava (2003) a radiação infravermelha quando é absorvida pelo gás CO₂ na atmosfera aquece o ambiente ao seu redor e isso

contribui para o efeito estufa. A radiação ultravioleta emitida por lâmpadas a descarga atrai insetos como os transmissores de doenças. Além disso, níveis mais elevados dessa radiação podem causar queimaduras na pele. A Figura 14 representa o diagrama espectral de energia de uma lâmpada de vapor de sódio, do fabricante Philips, sendo o modelo semelhante ao utilizado nesse estudo, uma vez que o catálogo da lâmpada utilizada no projeto não fornece esse diagrama.

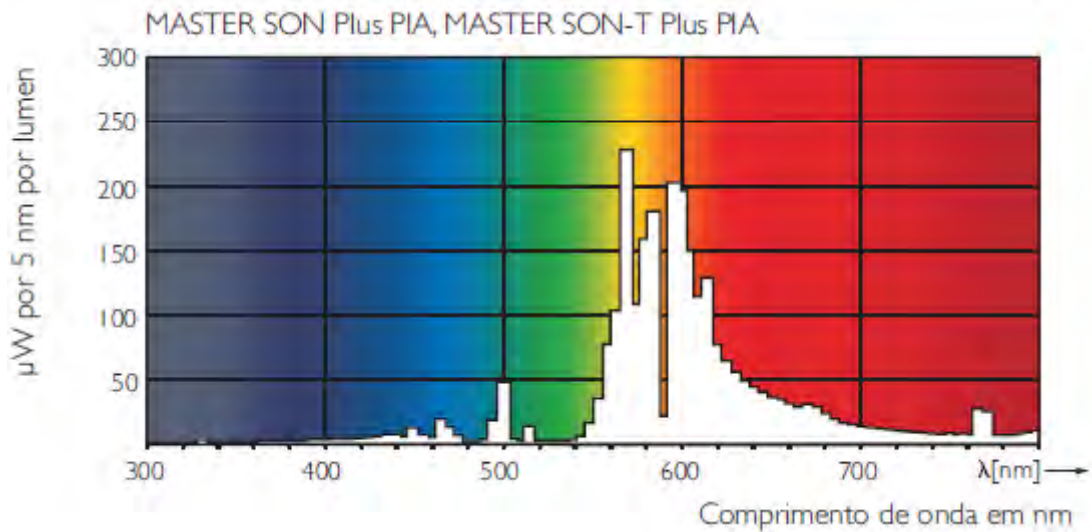


Figura 14 – Diagrama espectral de energia de uma lâmpada de vapor de sódio (PHILIPS, 2009)

Segundo Creder (2007) o espectro de onda visível está situado entre o comprimento de onda da luz violeta ($3.800 \cdot 10^{-10}$ m) e o da luz vermelha ($7.600 \cdot 10^{-10}$ m). Dessa forma, comprimentos de onda imediatamente acima de 760 nm são ondas infravermelhas e imediatamente abaixo de 380 nm são ultravioleta. De acordo com a Figura 14 a lâmpada de vapor de sódio apresentada não emite radiação ultravioleta, porém, nota-se uma emissão no comprimento de onda da radiação infravermelha. As lâmpadas LED, diferentemente das lâmpadas de vapor de sódio, não emitem radiações ultravioletas e infravermelhas, sendo essa mais uma vantagem dessa tecnologia.

Outro fator que pode ser observado é a vida útil das lâmpadas utilizadas, como demonstrado anteriormente, as luminárias LED utilizadas nesse estudo possuem uma vida útil de cinquenta mil horas, e as lâmpadas de vapor de sódio 24.000 horas. A maior durabilidade das lâmpadas de estado sólido além de gerar menos custo gera menos lixo. A diminuição da quantidade de descarte de materiais é bem vista por ambientalistas para diminuir a poluição do planeta, e a tecnologia LED contribui para isso.

7 CONCLUSÃO

Esse Trabalho de Graduação apresenta o estudo de duas propostas com diferentes tecnologias para o projeto de iluminação de uma área externa da Refinaria Ramos Pedroso I. Foi proposto analisar se luminárias LED substituiriam satisfatoriamente as lâmpadas de vapor de sódio inicialmente sugeridas para esse projeto. Utilizando-se um *software* de simulação de projetos luminotécnicos foi possível fazer comparações entre as soluções.

Do ponto de vista econômico a tecnologia a vapor de sódio mostra-se mais viável, pois necessita de um investimento inicial consideravelmente menor e que ao longo da vida útil das luminárias representa 16,14 % menos investimento do que as luminárias LED. Porém quando são considerados aspectos luminotécnicos e ambientais a tecnologia LED demonstra-se mais vantajosa do que as lâmpadas de vapor de sódio. As lâmpadas de estado sólido possuem melhor IRC e são mais eficientes. Do ponto de vista ambiental, causam menos poluição luminosa, são livres de metais pesados, não emitem radiações ultravioleta e infravermelha, são mais duráveis e contribuem menos para o efeito estufa.

Dessa forma a melhor solução dependerá das intenções do cliente com esse projeto de iluminação. Se a questão econômica for o principal quesito de decisão, certamente as lâmpadas de vapor de sódio deverão ser escolhidas. Caso sejam considerados aspectos como melhor qualidade de iluminação e que seja buscada uma solução menos agressiva ao meio ambiente e de melhor qualidade para a sociedade então as luminária LED devem ser escolhidas.

Portanto pode-se considerar que o projeto utilizando tecnologia LED é uma solução viável quando são considerados aspectos além do econômico. Acredita-se que o desenvolvimento tecnológico, pesquisas e aumento da produção possibilitem a redução dos custos dessas luminárias, tornando-a uma solução amplamente adotada, inclusive em iluminação pública, cujas características apresentam-se semelhantes a esse caso estudado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5101**: iluminação pública. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413**: iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5461**: iluminação - terminologia. Rio de Janeiro, 1991.

CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 18., 2010, Bonito. **Benefícios ambientais e energéticos da utilização da tecnologia LED em sistema de iluminação pública**. Disponível em: <http://www.labplan.ufsc.br/congressos/CBA2010/Artigos/66237_1.pdf>. Acesso em: 22 set 2011.

COTRIM, A. A. M. B. **Instalações elétricas**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009. 496 p.

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas**. 15. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007. 428 p.

PHILIPS, 2009. **Lâmpadas de descarga de alta intensidade (H.I.D.) Master SON(T) Plus com tecnologia PIA (vapor de sódio)**: catálogo, Brasil, 2 p.

PHILIPS, 2009. **Lâmpadas de descarga de alta intensidade (H.I.D.) SON(-T) (vapor de sódio)**: catálogo, Brasil, 2 p.

PHILIPS, 2009. **Lâmpadas de descarga de alta intensidade Master HPI(T) Plus e HPI-T (vapor metálico)**: catálogo, Brasil, 2 p.

JÚNIOR, J. A. C.; LACAVA, P. T. **Emissões em processos de combustão**. 1. ed. São Paulo: Editora Unesp, 2003. 135 p.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002. 753 p.

MOREIRA, Vinicius de Araujo. **Iluminação elétrica**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. 189 p.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

DIAL GmbH. **DIALux: user manual**. 16 ed. Lüdenscheid, 2011. 355 p.

MONTEIRO, A. L. F. B. P. A.; PINHEIRO, A. C. F. B. **Ciências do ambiente: ecologia, poluição e impacto ambiental**. 1. ed. São Paulo: Makron Books, 1992. 148 p.

PEREIRA, V. G.; PICCIRILI, R. L. M. **Estudo do sistema de iluminação dos estacionamentos do ICC Sul e do ICC Norte**. 2006. 280 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2006. Disponível em: <<http://bdm.bce.unb.br>>. Acesso em: 22 set. 2011.

ANEXO A – Documentos obtidos pelo *software* DIALux

project_tg

DIALux

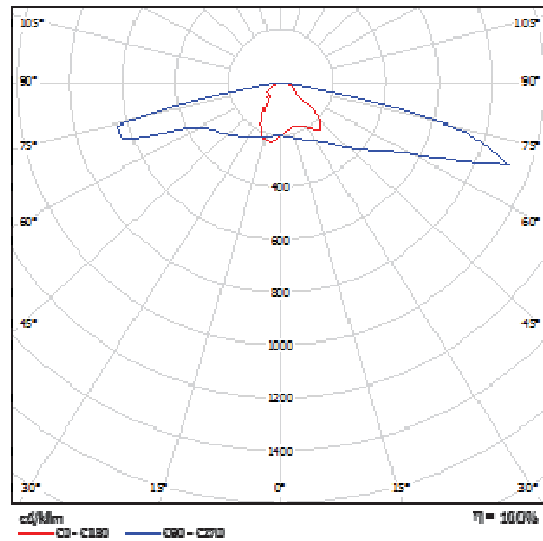
28.11.2011

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

LED Tech Solutions Co.,Ltd. APL42 / Luminaire Data Sheet

See our luminaire catalog for an image of the luminaire.

Luminous emittance 1:

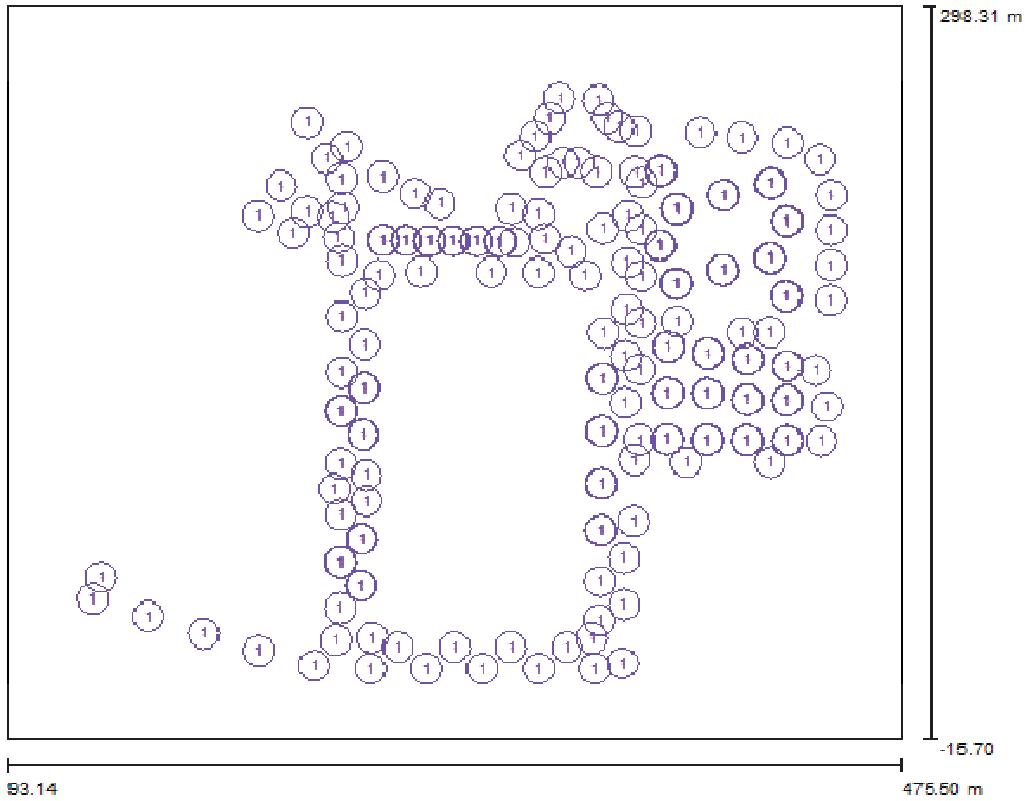


Luminaire classification according to CIE: 100
CIE flux code: 31 61 92 100 102

Due to missing symmetry properties, no UGR table can be displayed for this luminaire.

Operator
Telephone
Fax
e-Mail

Exterior Scene 1 / Planning data



Light loss factor: 0.80, ULR (Upward Light Ratio): 0.0%

Scale 1:2911

Luminaire Parts List

No.	Pieces	Designation (Correction Factor)	Φ [lm]	P [W]
1	186	LED Tech Solutions Co.,Ltd. APL42 (1.000)	8446	91.6
Total:			1570956	17037.6

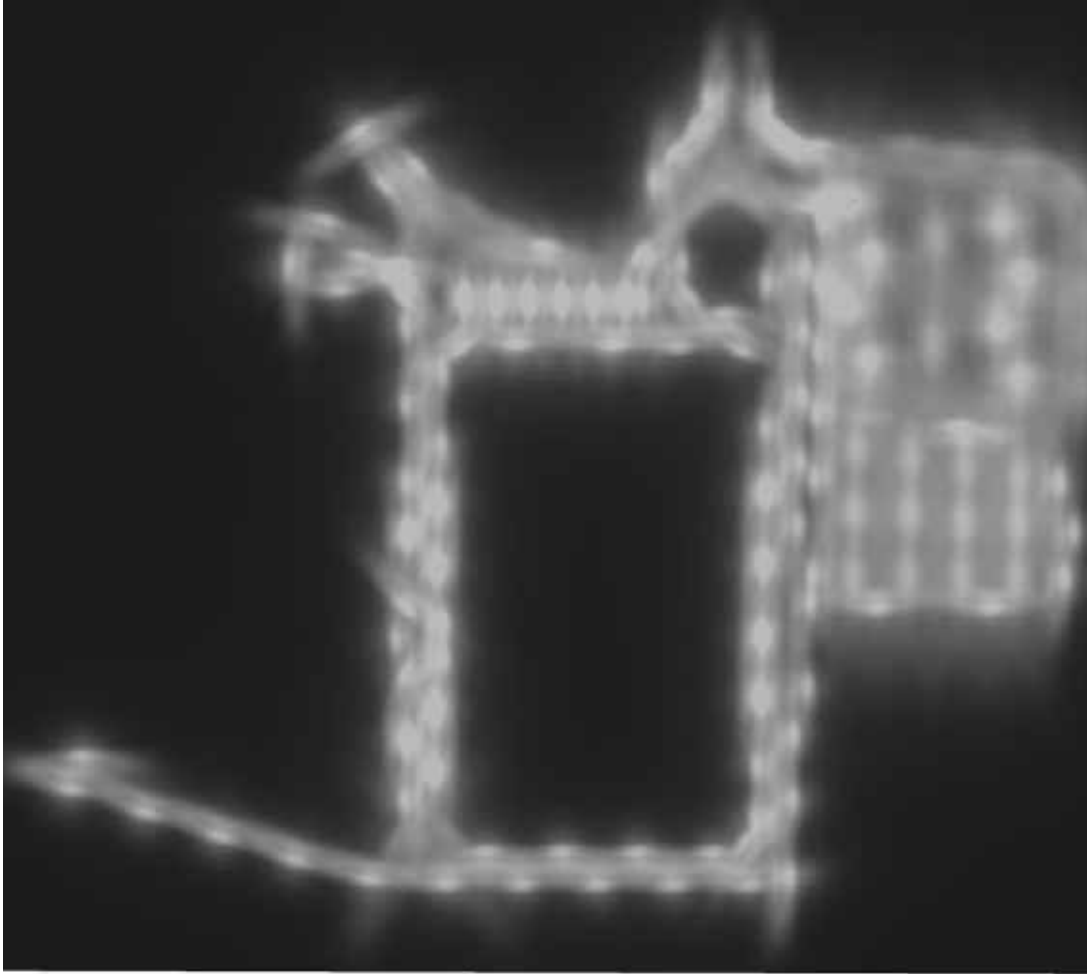
project_tg

DIALux

28.11.2011

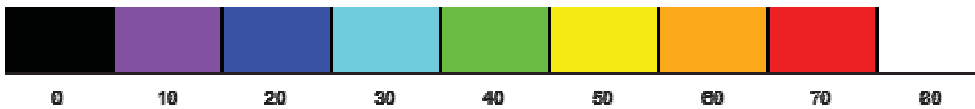
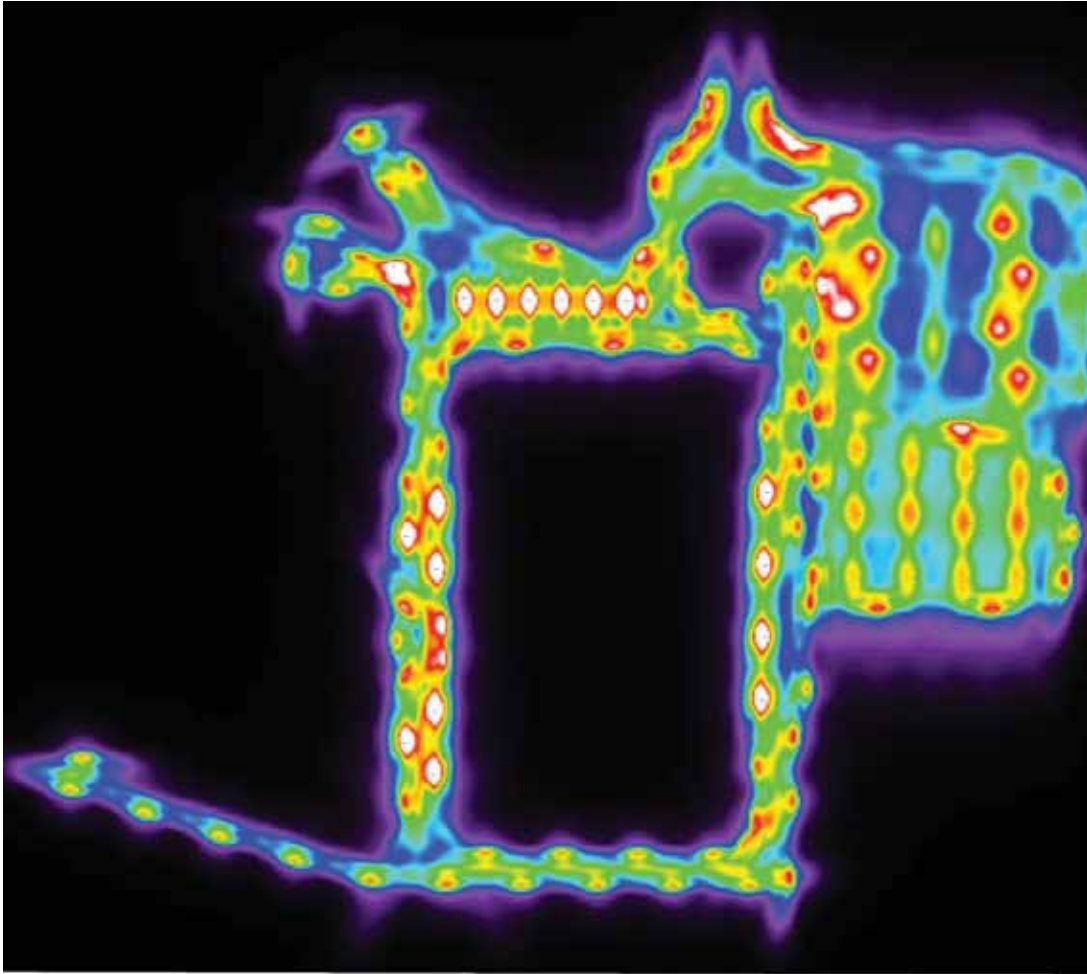
Operator
Telephone
Fax
e-Mail

Exterior Scene 1 / 3D Rendering



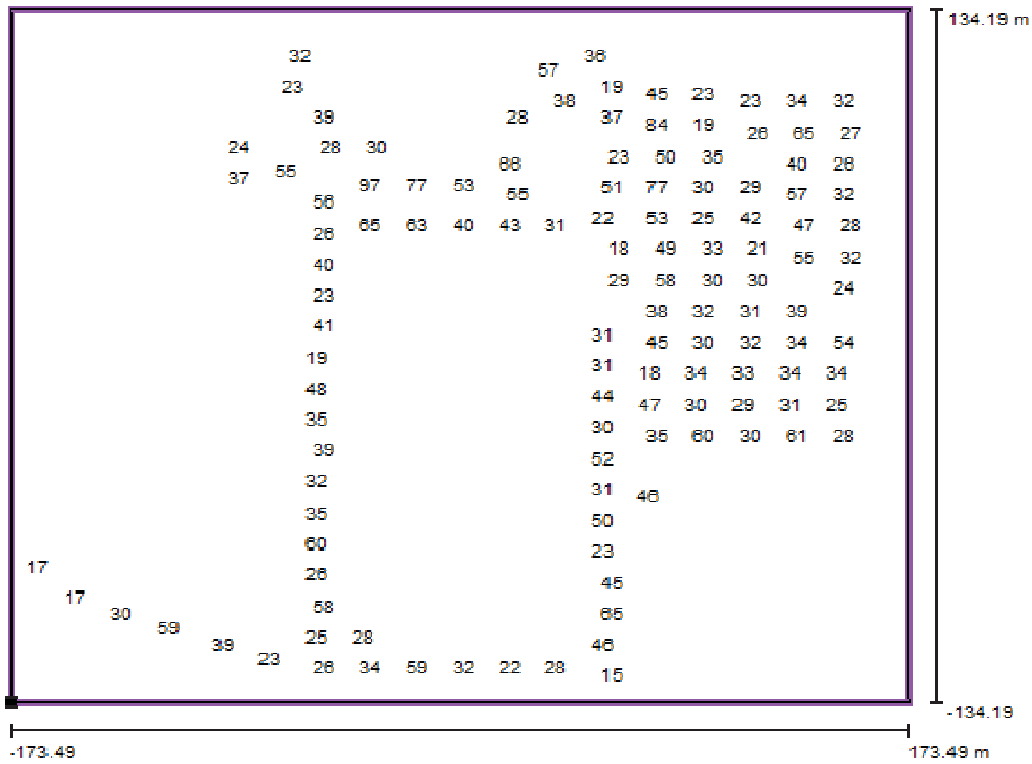
Operator
Telephone
Fax
e-Mail

Exterior Scene 1 / False Color Rendering



Operator
Telephone
Fax
e-Mail

Exterior Scene 1 / Calculation Grid 1 / Value Chart (E, Perpendicular)



Values in Lux, Scale 1 : 2631

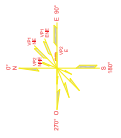
Not all calculated values could be displayed.

Position of surface in external scene:
Marked point: (114.910 m, 0.700 m, 0.000 m)



Grid: 2608 Points

E_{av} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min} / E_{max}
40	14	123	0.35	0.11



H G F E D C B A

I

J

K

L

M

N

O

P

Q

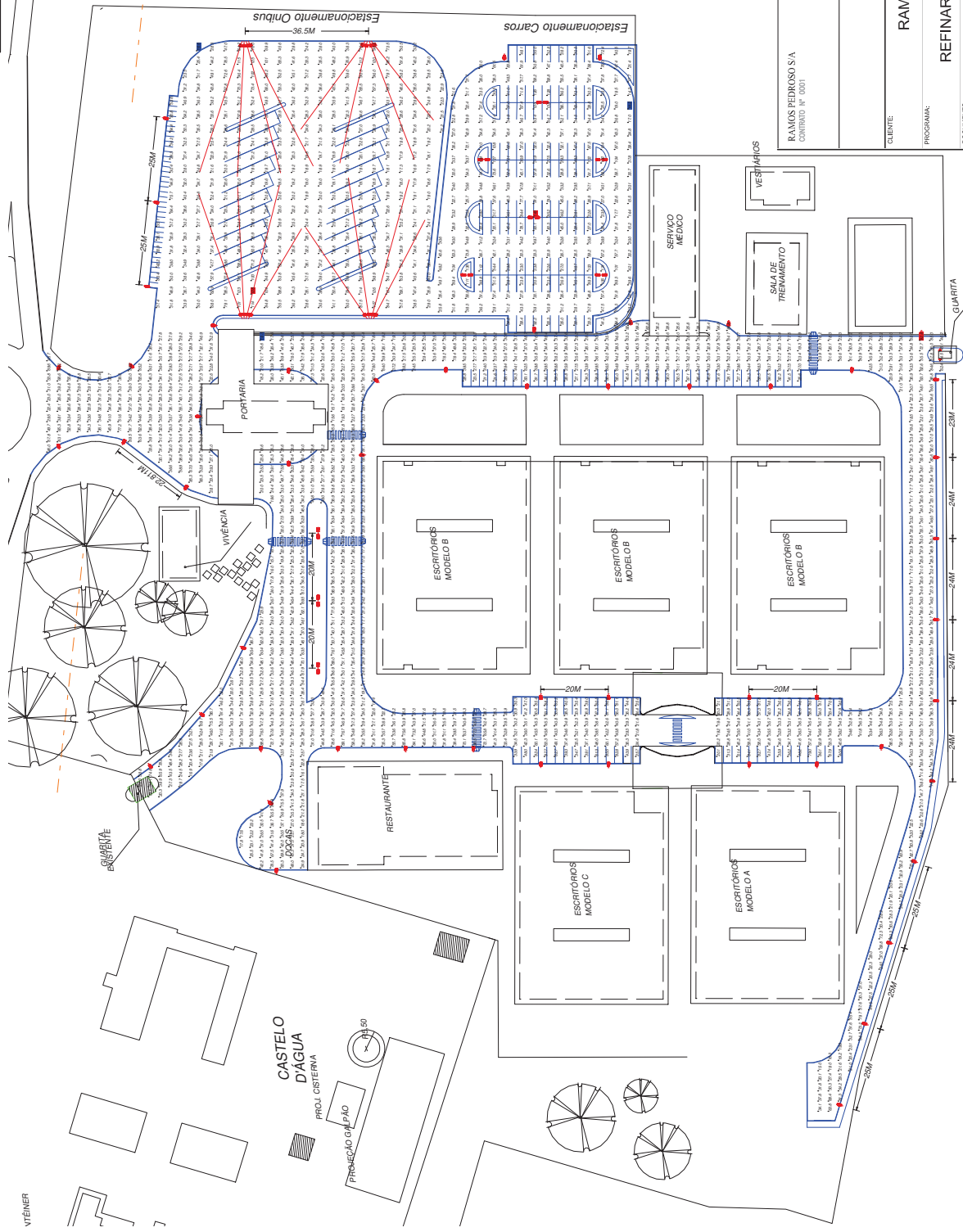
R

S



ENGENHARIA		
BANCA EDITORA S/A Linha 1001 - Fone: (011) 3000-0000		
TÍTULO: RAMOS PEDROSO S/A		
OBJETIVO: REFORMA RAMOS PEDROSO I		
LOCALIDADE: Avenida B - Praça Tábua		
FEITA POR: PLANTA, ANEXO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO, SISTEMAS DE VENTILAÇÃO E ILUMINAÇÃO DA ÁREA (SERV. DAS EFÉCILES)		
PROJETA	DATA:	ESCALA:
APROVADO	DATA:	ESCALA:
APR.	DATA:	ESCALA:

PROJETO LUMINOTÉCNICO



Symbol	Qty	Label	Arrangement	Lumens	LLF
	54	ZE-266 VS 250W T - 1	SINGLE	28000	0.850
	9	ZE-266 VS 250W T - 2	BACK-BACK	28000	0.850
	16	MA-340 VS 400W T	SINGLE	48000	0.850

Label	CalcType	Units	Avg	Max	Min	Min/Avg	Min/Max
Arruamento	Illuminance	Lux	39.28	92.8	14.3	0.36	0.15
Estacionamento Ônibus	Illuminance	Lux	40.63	128	16.6	0.41	0.13
Estacionamento Carros	Illuminance	Lux	47.70	143	14.2	0.30	0.10

Label	Z	T/H
ZE-266 VS 250W T - 1	8	10
ZE-266 VS 250W T - 2	8	10
MA-340 VS 400W T	12	65.605

Descrição Técnica
 Luminária Pública: ZE-266 - VS 250W Tubular
 Projetor: MA-340 - VS 400W Tubular
 Fluxo Luminoso: 28.000 / 48.000 lm
 Depreciação: 0.85
 Altura de Montagem: 8M (ZE-266) / 12M (MA-340)
 Inclinação: 10° (ZE-266) + 68° (MA-340)
 Suprte: Núcleo Central pl. 1 e 2 / Cruzeta

RAMOS PEDROSO S/A
CONTORNO Nº 001

ENGENHARIA

RAMOS PEDROSO S/A

REFINARIA RAMOS PEDROSO I

Anexo C - Projeto com lâmpadas de vapor de sódio

PLANTA BAIXA DE DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DA ÁREA GERAL DAS EDIFICAÇÕES.

PROJ.:
 EXEC.:
 VEBR.:
 DATA: DEZ/2011