UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

### CARACTERIZAÇÃO DE LUMINÁRIAS PARA AMBIENTES VIRTUAIS DE ÂMBITO HISTÓRICO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA

Carla Isabel Morais Ferreira



Vila Real, Fevereiro de 2013

#### CARACTERIZAÇÃO DE LUMINÁRIAS PARA AMBIENTES VIRTUAIS DE ÂMBITO HISTÓRICO

Dissertação de Mestrado em Engenharia Informática

Apresentada por

Carla Isabel Morais Ferreira

Sob Orientação do Prof. Doutor Luís Magalhães e Coorientação do Prof. Doutor Vítor Filipe



Escola de Ciências e Tecnologias Vila Real, Fevereiro de 2013

Dissertação de Mestrado, submetida à Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, para cumprimento dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Informática, sob a orientação do Prof. Doutor Luís Magalhães e coorientação do Prof. Doutor Vítor Filipe.

## Agradecimentos

Desde mais gostava de agradecer às pessoas que me apoiaram e me ajudaram na construção desta dissertação que não foi tarefa fácil:

Ao meu orientador, o Professor Doutor Luís Magalhães pelos conhecimentos transmitidos, pelo apoio e sempre disponível para ajudar, pelo incentivo no amadurecimento dos meus conhecimentos e conceitos que me levaram a execução e conclusão desta dissertação.

Ao meu coorientador, o Professor Doutor Vítor Filipe pelo apoio, pela atenção, pela ajuda ao longo da dissertação, pela motivação na orientação e incentivo ao qual tornou possível concluir o meu trabalho.

Ao Professor Doutor Paulo Fiadeiro, diretor do Centro de Ótica da UBI (Universidade da Beira Interior) fico grata pela disponibilização do material, o espectroradiómetro e pelo espaço para poder realizar as minhas experiências, sem o seu apoio não teria sido possível.

Ao Professor Doutor Emanuel Peres e ao Mestre José Sousa do Laboratório de Artes Visuais e Multimédia da UTAD (Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro), por agradavelmente me terem cedido o espaço e o fotómetro, necessários á conclusão das experiências indicadas nesta dissertação.

Aos meus amigos (as) que me deram uma palavra de conforto e de carinho e alguns concelhos em especial a minha amiga Elisabete, pelas relevantes discussões e sugestões no decorrer deste trabalho, um muito obrigado do fundo do coração.

Ao meu pai Fernando e à minha mãe Filomena, pelo esforço que fizeram para que eu pudesse chegar até a esta etapa da minha vida.

Aos meus irmãos Miguel e Cláudio pelo apoio, carinho, força que me deram e por estarem sempre presentes nos bons e maus momentos.

A todos desde já o meu maior agradecimento.

### Resumo

A iluminação é um dos aspetos essenciais na recriação de cenas em ambientes virtuais. Esta questão, torna-se particularmente importante na visualização de reconstruções virtuais de ambientes históricos, uma vez que as características da fonte de luz que ilumina a cena, podem alterar a perceção que se tem da mesma. Para obter uma simulação virtual com máximo de realismo, é necessário recrear as fontes de iluminação com precisão, quer do ponto de vista físico, quer histórico. Assim, torna-se necessário obter dados físicos que caracterizem as fontes de luz, que eram usadas no período histórico em consideração.

A caracterização das fontes de luz usadas em determinados períodos históricos, foi objeto de estudo em diversos trabalhos de investigação. A metodologia utilizada nesses trabalhos assenta na caracterização da distribuição espectral da luz emitida. Nesta dissertação pretende-se contribuir para a melhoria do processo de caracterização das luminárias, através da proposta de uma metodologia, que para além de efetuar uma caracterização espectral, propõe também a caracterização espacial da luz emitida. Para avaliar e validar a metodologia proposta, a mesma foi aplicada na caracterização de velas como fontes de luz. Para testar os dados obtidos, foi criado um modelo virtual, recorrendo a um software de modelação, o qual foi iluminado com uma fonte de luz definida de acordo com esses dados.

Os resultados obtidos nas experiências realizadas, apontam para a relevância da composição das diferentes velas usadas, na perceção da cena iluminada.

**Palavras-chave:** caracterização de luminárias, ambientes virtuais, ambientes históricos, iluminação.

## Abstract

Lighting is one of the essential aspects in recreating scenes in virtual environments. This issue becomes particularly important when viewing virtual reconstructions of historical environments, since the characteristics of the light source illuminating the scene, may change the perception that has been thereof. To obtain a virtual simulation with the maximum realism, it is necessary to recreate the lighting sources with precision, from a historical or physical point of view. Thus, it becomes necessary to obtain physical data that characterize the light sources, which were used in the historical period into consideration.

The characterization of light sources used in certain historical periods, was studied in several research works. The methodology used in these works is based on the characterization of the spectral distribution of the emitted light. This thesis aims to contribute to the improvement of luminaires, characterization by proposing a methodology that besides making a spectral characterization, also proposes a spatial characterization of the light. To evaluate and validate the proposed methodology, it was applied in the characterization of light produced by candles. To test the obtained data, a virtual model was created, using modeling software, which was illuminated with a light source set according to the data.

The results obtained in experiments, demonstrate the importance of the different candles composition used in the perception of the scene.

**Keywords:** characterization of luminaires, virtual environments, historical environments, lighting.

## Índice Geral

Agradecimentos	ii
Resumo	iv
Abstract	v
Índice Geral	vi
Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas	xii
Índice de Equações	xiv
Acrónimos	XV
Capítulo I – Introdução	1
1.1 – Enquadramento	1
1.2 – Objetivos	3
1.3 – Organização	
Capítulo II – Luz e Cor	5
2.1 – Luz	5
2.1.1 – Radiometria	7
2.1.1.1 – Grandezas espectroradiométricas	7
2.1.2 – Fotometria	7
2.1.2.1 – Grandezas fotométricas	
2.2 – Cor	9
2.3 – Espaços de cor	
2.3.1 – XYZ	
2.3.2 – RGB	
2.3.3 – Transformações entre espaços de cor	14
2.3.3.1 – De energia espectral para XYZ	
2.3.3.2 – De XYZ para RGB	

– Temperatura de Cor 17
-------------------------

Capítulo III – Simulação da iluminação em ambientes históricos	virtuais 19
3.1 – Evolução das tecnologias de iluminação	19
3.1.1 – Pré-história	
3.1.2 – História antiga	21
3.1.3 – Idade média	24
3.1.4 – Idade moderna	24
3.1.5 – Idade contemporânea	
3.2 – Simulação das fontes de luz	
3.2.1 – Caracterização de fontes de luz	
3.2.2 – Simulação das chamas	

Capítulo IV – Metodologia para caracterização de fontes de luz	36
4.1 – Descrição geral da metodologia proposta	36
4.1.1 – Determinação da distribuição espectral	37
4.1.2 – Determinação da distribuição espacial da intensidade	38
4.2 – Caso de estudo: vela	40
4.2.1 – Distribuição espectral das velas	41
4.2.2 – Distribuição espacial da intensidade das velas	46
4.3 – Simulação no 3ds Max	52
Capítulo V – Conclusões e Trabalho Futuro	56
Referências	58
Anexo A – Resultados com o espectroradiómetro	63
Anexo B – Cálculo dos valores x, y, z e X, Y, Z	83

Anexo C – Resultados com o fotómetro	. 98
Anexo D – Formato de ficheiro padrão IES 1	113

## Índice de Figuras

Figura 1 – Onda eletromagnética [Holdschip, 2008]5
Figura 2 – Espectro visível
<b>Figura 3</b> – Olho Humano [Gonçalves, 2010]10
Figura 4 – Cores Primárias10
Figura 5 – Diagrama de cromaticidade CIE11
Figura 6 - Representação do espaço XYZ no diagrama de cromaticidade [Cavalcanti,
2000]
Figura 7 - Subespaço do modelo RGB a partir dos eixos XYZ [Azevedo & Conci,
2003]
Figura 8 – Diagrama de coordenadas de cromaticidade x e y da CIE
Figura 9 – Função das cores [Roussos & Chalmers, 2003]16
Figura 10 – Temperatura de Cor [Leão, 2005]18
Figura 11 – Fogo da pré-história
<b>Figura 12</b> – Lucerna de barro [Lima, 2009]21
<b>Figura 13</b> – Castiçal
<b>Figura 14</b> – Vela
Figura 15 – Candelabro [Lima, 2009]
Figura 16 – Lanternas de metal
Figura 17 – (a) iluminação moderna (b) luminárias a azeite (c) luminárias a azeite com
sal (d) luminárias a azeite com água [Devlin & Chalmers, 2001]25
Figura 18 - Cavalo iluminado por uma (a) lâmpada incandescente 55W (b) vela de
gordura animal [Chalmers, 2002]
Figura 19 – Simulação da Casa Medieval (vista de cima) [Devlin, et al., 2002]27
Figura 20 – Saída espectral da vela de cera de abelha [Roussos, et al., 2003]28
Figura 21 – Sala de trono (a) iluminado por uma vela de cera de abelha (b) iluminado
por uma luz moderna (c) vista ao meio-dia em 18 de Agosto de 1400 A.C [Roussos, et
al., 2003]
Figura 22 – Reconstrução de Kalabsha como aparece hoje [Sundstedt, et al., 2004] 29
Figura 23 – Dados espectrais de azeite biológico [Sundstedt, et al., 2004]

Figura 24 – Hieróglifos iluminados com (a) iluminação moderna (b) uma luminária de
óleo de sésamo [Sundstedt, et al., 2004]
Figura 25 – Perfil espectral para uma vela de cera de abelha [Zányi, et al., 2007] 30
Figura 26 – Simulação do ícone (a) iluminado por uma iluminação moderna (b)
iluminado por velas de cera de abelha [Zányi, et al., 2007]
Figura 27 – Testes de iluminação onde é visível a lucerna em combustão [Gonçalves, et
al., 2007b]
Figura 28 - Um "fresco" original (à esquerda) e a sua reconstrução digital (à direita)
[Gonçalves, et al., 2009]
Figura 29 – Resultados das medições de iluminação com quatro configurações
diferentes [Gonçalves, et al., 2009]
Figura 30 – Primeira fase de Tholos Tomb C com um telhado e uma pequena abertura
(30 de Julho, às 15h00 de 2007) [Papadopoulos & Earl, 2009]
Figura 31 – Segunda fase de Tholos Tomb C (30 de Julho, às 15h00 de 2007)
[Papadopoulos & Earl, 2009]
Figura 32 – Chama de uma vela (a) real (b) virtual [Louchez, et al., 2006]35
Figura 33 – Chama de uma lamparina a óleo (a) real (b) virtual [Louchez, et al., 2006]
25
Figura 34 – Metodologia proposta
Figura 34 – Metodologia proposta
Figura 34 – Metodologia proposta
<ul> <li>Figura 34 – Metodologia proposta</li></ul>
Figura 34 – Metodologia proposta

Figura 45 – Distância máxima de leitura conseguida com o fotómetro durante a queima
das velas
Figura 46 - Intensidade máxima de leitura conseguida com o fotómetro durante a
queima das velas
Figura 47 – Resultados das medições com o fotómetro após 30 minutos a vela acesa. 50
Figura 48 - Setup experimental para a determinação da intensidade em função da
variação angular51
Figura 49 – Cenário usado na simulação
Figura 50 – Simulação em 3ds Max de uma cena iluminada por uma vela de cera 53
Figura 51 – Simulação em 3ds Max de uma cena iluminada por uma vela de parafina 54
Figura 52 - Simulação em 3ds Max de uma cena iluminada por uma lâmpada
fluorescente

## Índice de Tabelas

7
9
)
1
)
4
n
1
n
5
5
5
1
n
1
n
3
n
3
е
3
e
3
)
3
a
5
a
9

Tabela 18 - Cálculo dos valores finais de X, Y e Z com a vela de parafina a uma
distância de 0,97 m92
Tabela 19 - Cálculo dos valores finais de X, Y e Z com a vela de parafina a uma
distância de 1,14 m95
<b>Tabela 20</b> – Tabela de Conversão Candela [Kiguchi, 2006]
<b>Tabela 21</b> – Medições com o fotómetro após 30 minutos com a vela de cera
<b>Tabela 22</b> – Medições com o fotómetro após 1h com a vela de cera
<b>Tabela 23</b> – Medições com o fotómetro após 1h30 com a vela de cera101
<b>Tabela 24</b> – Medições com o fotómetro após 2h com a vela de cera
<b>Tabela 25</b> – Medições com o fotómetro após 2h30 com a vela de cera103
<b>Tabela 26</b> – Medições com o fotómetro após 3h com a vela de cera104
<b>Tabela 27</b> – Medições com o fotómetro após 3h30 com a vela de cera105
<b>Tabela 28</b> – Medições com o fotómetro após 4h com a vela de cera
<b>Tabela 29</b> – Medições com o fotómetro após 30 minutos com a vela de parafina 107
<b>Tabela 30</b> – Medições com o fotómetro após 1h com a vela de parafina
<b>Tabela 31</b> – Medições com o fotómetro após 1h30 com a vela de parafina109
<b>Tabela 32</b> – Medições com o fotómetro após 2h com a vela de parafina
Tabela 33 – Medições com o fotómetro após 2h30 com a vela de parafina
Tabela 34 – Medições com o fotómetro após 3h com a vela de parafina       112

## Índice de Equações

Equação 1 – Cálculo do fluxo luminoso [Dutré, et al., 2003]	8
Equação 2 – Cálculo da densidade do fluxo luminoso [Dutré, et al., 2003]	8
Equação 3 – Cálculo da intensidade luminosa [Dutré, et al., 2003]	8
Equação 4 – Cálculo da luminância [Dutré, et al., 2003]	8
Equação 5 – Cálculo das cores	14
<b>Equação 6</b> – Cálculo da quantidade de x	14
Equação 7 – Cálculo da quantidade de y	14
<b>Equação 8</b> – Cálculo da quantidade de z	15
Equação 9 – Cálculo do valor de X	16
Equação 10 – Cálculo do valor de Y	16
<b>Equação 11</b> – Cálculo do valor de Z	17
Equação 12 – Cálculo do valor de K	17
<b>Equação 13</b> – Cálculo da matriz 3x3 de XYZ	17
Equação 14 – Cálculo da matriz 3x3 de RGB	17
Equação 15 – Fórmula de interpolação Linear	52

## Acrónimos

A.C	Antes de Cristo
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
C.G	Computação Gráfica
CIE	Commission Internationale de l'Éclairage
СМҮК	Cyan, Magenta, Yellow e Preto ("k"ey do inglês = chave, pois é a base)
D.C	Depois de Cristo
DEP	Distribuição Espectral de Potência
EV	Valor de Exposição
HDR	High Dynamic Range
HLS	Hue, Luminance e Saturation
HSV	Hue, Saturation e Value
IES	Illuminating Engineering Society
ISO 1	Visualização da sensibilidade da película ISO
K	Kelvin
Lab	L, a, b
nm	Nanómetro
NURBS	Non Uniform Rational Basis Spline
RGB	Red, Green e Blue
Т	Velocidade de Obturação
YIQ	Y – Luminância, IQ – Crominância
2D	Bidimensional
3D	Tridimensional

# C apítulo I - Introdução

#### 1.1 - Enquadramento

O facto de na maioria dos sítios arqueológicos as estruturas aí existentes terem sido danificadas ou completamente destruídas não permite que as mesmas sejam apreciadas com o seu esplendor original. Este facto levou à necessidade de se efetuarem reconstruções virtuais, tentando recriar esses ambientes históricos o mais fielmente possível, tendo em consideração a informação disponível. A utilização das reconstruções virtuais de ambientes históricos tornou-se muito importante para aumentar a experiência percetual do público em geral e para que os investigadores testassem as suas teorias.

A forma como visualizamos os ambientes virtuais produzidos é particularmente importante para a correta interpretação do local de um ponto de vista histórico. A iluminação constitui um principal fator para fornecer a interpretação pretendida.

Qualquer local pode ser iluminado recorrendo a dois tipos de iluminação, a iluminação natural e a artificial. A iluminação natural é usada durante o dia e considerada a principal fonte de iluminação, no entanto após a descoberta da eletricidade e das lâmpadas, a iluminação artificial usada predominantemente à noite, tornou-se cada vez mais eficiente e passando a ser usada também durante o dia.

#### Introdução

Até meados do século XIX, altura em que surgiu a luz elétrica, a luz artificial era obtida recorrendo ao fogo/chama, por exemplo, através de tochas, lamparinas e velas. Na visualização de reconstruções virtuais de sítios arqueológicos o tipo de luminárias usadas assumem um papel importante na forma como o utilizador, visitante ou especialista, perceciona o local. Utilizando as condições atuais de iluminação, por exemplo, através da iluminação dos locais ou dos artefactos com luz elétrica, os sítios arqueológicos são percecionados de uma forma significativamente diferente daquela que seriam na altura em que foram construídos ou usados. Um exemplo é o estudo que Devlin e Chalmers (Devlin & Chalmers, 2001) fizeram, onde nos mostra a Casa do Vétio em Pompeii, com iluminação moderna e com iluminação de uma luminária a azeite.

Para obter uma reconstrução virtual que tenha uma base científica, é necessário recrear as fontes de iluminação com precisão, quer do ponto de vista físico, quer histórico. Assim, torna-se necessário obter dados físicos relativos às fontes de luz que eram usadas no período histórico. As propriedades físicas da chama que é criada por um determinado tipo de fonte de luz artificial alteram a aparência visual da cena iluminada por essa fonte de luz. Essas propriedades físicas dependem de vários fatores. O tipo de combustível usado é, sem dúvida, o fator que mais influência as características físicas da luz emitida. No entanto, existem outros fatores que também devem ser considerados, como a utilização de aditivos, por exemplo, a adição de sal, o material usado para a construção do pavio assim como a sua forma e o material usado na construção da luminária.

De modo a recrear com precisão uma determinada fonte de luz, a maior parte dos trabalhos de investigação, que abordam esta temática, efetua uma reconstrução física das luminárias da época, e utilizando um espectroradiómetro obtém-se a distribuição espectral da luz emitida. Devlin, et al., (Devlin, *et al.*, 2002) recriou a iluminação original de um sítio arqueológico, em que usou um espectroradiómetro para obter a distribuição espectral da luz, utilizou velas de sebo (origem vegetal), luminárias de gordura animal, velas de cera de abelha, luminárias a azeite (mas só com azeite, outra com azeite e água) para recriar a fonte de luz.

A maior parte destes trabalhos baseia-se na caracterização espectral da luz emitida pelas fontes de luz. Mas existem outros aspetos que não têm sido considerados, tais

#### Introdução

como a intensidade da fonte de luz em função da distância e a sua distribuição espacial, e que podem influenciar a forma como são visualizadas as cenas iluminadas por uma fonte de luz.

#### 1.2 - Objetivos

Nesta dissertação é proposta uma metodologia para caracterizar de um ponto de vista físico as fontes de luz, com o objetivo de usar esses dados na sua modelação em ambientes virtuais. Desta forma, pretende-se contribuir para a melhoria do processo de caracterização das luminárias através da proposta de uma metodologia que para além de efetuar uma caracterização espectral propõe também a caracterização espacial da luz emitida.

Como objetivo secundário pretende-se aplicar a metodologia num caso prático para mostrar a sua viabilidade e de que forma a mesma pode ser usada. Assim, a metodologia proposta será avaliada e validada através de um estudo em que se caracteriza a luz emitida pela chama de dois tipos de vela: cera e parafina. Para testar os dados obtidos, será criado um modelo virtual, recorrendo a um software de modelação, o qual será iluminado com uma fonte de luz definida de acordo com esses dados.

#### 1.3 – Organização

Esta secção apresenta sucintamente a estrutura e conteúdo desta dissertação, onde é possível identificar cinco capítulos, relativamente independentes entre si, mas formando uma ligação, seguindo um fio condutor desde de um conjunto de reflexões iniciais até a uma série de conclusões e perspetivas futuras.

O presente capítulo, de índole introdutório, inicia-se com um enquadramento do tema em estudo, seguindo com os objetivos a atingir, e finalizando com a organização da dissertação.

No segundo capítulo descreve-se fisicamente a luz e o seu comportamento, posteriormente é caraterizada a cor e como esta se relaciona com o sistema visual humano, seguidamente define-se os espaços de cor a serem usados e as suas transformações entre espaços de cor e por último a temperatura de cor.

No terceiro capítulo é descrita a evolução das tecnologias de iluminação e uma revisão histórica da iluminação, para que se perceba a sua importância para o dia-a-dia do ser humano, por último será abordada a simulação das fontes de luz, no qual cada autor descreve o estudo que realizou.

No quarto capítulo, aborda-se a metodologia proposta para a caraterização da iluminação que se baseia na determinação da distribuição espectral e na distribuição espacial da intensidade, finalizando com a descrição do caso de estudo das velas apresentando-se o resultado da simulação da fonte de luz no 3ds Max.

Por último, o quinto capítulo, apresenta algumas conclusões do trabalho desenvolvido, e com algumas indicações para trabalhos futuros que possibilitará a continuidade do trabalho desenvolvido.

## apítulo II – Luz e Cor

Neste capítulo definem-se conceitos de luz, radiometria, fotometria, cor e como esta se relaciona com o sistema visual humano. Os espaços de cor (XYZ e RGB) as suas transformações e a temperatura de cor são outros conceitos abordados.

#### **2.1 – Luz**

A luz é considerada uma fonte de energia, conhecida como radiação eletromagnética, por sua vez, a cor é o resultado da interação dessa energia com vários materiais, contudo sem luz não existe cor. A luz contém a propriedade de partícula e de onda. Todas as partículas de luz, mais conhecidas como fotões, irradiam as fontes em forma de ondas, e com uma velocidade constante aproximadamente de 300.000 km/s. São medidas em comprimentos de onda e amplitude. A figura 1, faz a caraterização de uma onda eletromagnética (Holdschip, 2008).



Figura 1 – Onda eletromagnética [Holdschip, 2008]

Ao observarmos vários objetos ao longo do dia, deparamo-nos com diversas situações, tais como, a luz muda conforme a sua incidência e quando a mesma atinge uma determinada superfície ela tanto pode ser absorvida, como refletida, ou ainda transmitida. A **absorção** acontece quando a luz embate numa superfície ou objeto, e este tenta absorver toda ou alguma parte dessa luz. Deste modo, se o objeto for preto toda a luz é absorvida, e se o objeto for branco não absorve parte dessa luz. A **reflexão** ocorre se a luz embater num objeto branco, e este refletir toda a luz. Caso o objeto seja de cor, este vai refletir a sua própria cor e vai absorver as restantes cores. Por exemplo, um objeto azul vai refletir o azul, absorver o vermelho e o verde. Já a **transmissão** surge quando a luz atravessa uma superfície ou objeto (Harrell, 1995).

Define-se como luz, a energia radiante visível pelo olho humano, onde esta emite uma radiação eletromagnética, com um modo de propagação que inclui raios cósmicos, raios gama, raios X, ultravioleta, luz visível, infravermelhos, micro-ondas, rádio, entre outros (Mania, 2001). A luz visível, é um termo usado para descrever o subconjunto ou uma parte do espectro eletromagnético. Esse subconjunto, é composto por um comprimento de onda ( $\lambda$ ) entre os 380nm e os 780nm. A faixa de luz visível é mostrada na figura 2 (R. Cardoso, 1979; Mania, 2001).



Figura 2 – Espectro visível

No espectro eletromagnético, existem algumas bandas que têm denominações próprias relacionadas com as suas características, como: o espectro ótico que abrange a região entre as radiações ultravioleta, visível e infravermelho; o espectro visível que se designa pelo conjunto das radiações alcançadas pelo sistema visual humano, entre outros (Silva, 2006). A tabela 1, representa o intervalo de comprimento de onda ( $\lambda$ ), correspondente às cores do espectro visível.

Cor	Comprimento de onda (nm)		
Violeta	380 - 435		
Azul	436 - 495		
Verde	496 – 565		
Amarelo	566 - 589		
Laranja	590 - 627		
Vermelho	628 - 780		

Tabela 1 – Disposição das cores no espectro [Cardoso, 1979]

#### 2.1.1 - Radiometria

A espectroradiometria, é uma técnica utilizada para medir a DEP da radiação emitida pela fonte de luz. A informação sobre as características espectrais da fonte, é descrita pela curva da intensidade luminosa em função do comprimento de onda. O espectroradiómetro faz a medição da cor em cada comprimento de onda, e o resultado dessa medição é convertido nas coordenadas XYZ, e por fim em valores RGB.

A radiometria é considerada como tecnologia que mede a energia eletromagnética emitida pela fonte radiante ao longo do espectro ótico. As principais características da radiometria são: não considera a visão; medição da energia de radiação (W); abrange todo o espectro de radiação eletromagnética (Oliveira, 2006).

#### 2.1.1.1 – Grandezas espectroradiométricas

Porém, se a energia radiante for medida em termos dos seus componentes monocromáticos, esta se transformará em função do comprimento de onda. Nesse caso, serão designadas, como irradiância espectral. O símbolo é designado por comprimento de onda ( $\lambda$ ), por exemplo, onde a irradiância espectral tem o símbolo de E( $\lambda$ ) (Oliveira, 2006).

#### 2.1.2 - Fotometria

A fotometria está relacionada com a energia radiante no espectro visível, no qual o olho humano é sensível (380nm – 780nm). A principal característica da fotometria, é a energia que é explicada de alguma forma pela visão humana, e que abrange o espectro visível (Oliveira, 2006).

#### 2.1.2.1 – Grandezas fotométricas

As quantidades fotométricas indispensáveis referem-se a medição da luz. A **energia luminosa**, é designada por energia radiante na região espectral visível, denominada por Q (V. Cardoso, 2009).

O **fluxo luminoso** é a radiação emitida em todas as direções mediante uma fonte luminosa, ou fonte de luz. Pode ser descrita com a seguinte equação 1 (Oliveira, 2006).

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}$$

Equação 1 – Cálculo do fluxo luminoso [Dutré, et al., 2003]

Iluminância é a **densidade do fluxo luminoso** (equação 2) que incide sobre uma superfície. Um exemplo, é um objeto ser iluminado por uma lanterna a diferentes distâncias. Quando a lanterna ilumina o objeto a uma distância próxima, verifica-se que a área iluminada é um pequeno círculo, mas quando, a distância é grande, a área iluminada é um círculo maior (Oliveira, 2006).

$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$

Equação 2 - Cálculo da densidade do fluxo luminoso [Dutré, et al., 2003]

A **intensidade luminosa** (equação 3), é definida como a luz emitida por uma fonte monocromática (555nm), numa direção (V. Cardoso, 2009).

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}$$

Equação 3 – Cálculo da intensidade luminosa [Dutré, et al., 2003]

**Luminância** é a relação entre a intensidade luminosa, e a área da fonte de luz. Pode ser descrita pela seguinte equação 4 (Oliveira, 2006).

$$L = \frac{d^2 \Phi}{d\omega \, dA \cos \theta}$$

Equação 4 – Cálculo da luminância [Dutré, et al., 2003]

Todas as unidades fotométricas descritas neste seção estarão representadas na tabela 2 (Dutré, *et al.*, 2003).

Fotómetro						
Símbolo	Valor	Unidade				
Q	Energia Luminosa	Talbot				
Φ	Fluxo Luminoso	Lumen (lm)				
Е	Densidade de Fluxo Luminoso	Lux $(lm/m^2)$				
Ι	Intensidade Luminosa	Candela (cd)				
L	Luminância	Nit $(cd/m^2)$				

#### Tabela 2 – Unidades do fotómetro [Dutré, et al., 2003]

#### 2.2 - Cor

No sistema visual humano a cor, é formada a partir de impulsos elétricos originados por sensores que são sensíveis à luz. Estes sensores enviam diferentes impulsos elétricos ao nosso cérebro, consoante o comprimento de onda de cada uma das cores primárias, por sua vez, o cérebro recebe e processa esses sinais no qual resulta a visão das cores. Todas as cores que o sistema visual humano consegue captar, são derivadas das combinações das cores primárias, em que o cérebro divide essas cores em três zonas (vermelho, verde e azul) (Leite, 2006).

O olho humano capta uma imagem através da córnea, que é a primeira camada localizada na frente do olho, e não do cristalino. Da córnea ao cristalino, a luz passa entre a abertura designada de pupila, onde essa abertura, encolhe ou alarga consoante a intensidade da luz através da íris (figura 3). A lente possibilita a passagem da luz pelo gel transparente chamado de humor vítreo, formado na retina localizada na parte de trás do olho. A parte que se pode considerar sensível à luz chama-se retina, pois é composta por fotorreceptores e terminações nervosas. Existem dois tipos de fotorreceptores, os cones e os bastonetes, em que cada olho possui aproximadamente 120 milhões de bastonetes, e 6 milhões de cones. Os bastonetes reúnem-se mais a volta da retina, e estes não são sensíveis a diferentes cores, pois conseguem detetar movimentos e ainda visualizar com uma luminosidade muito baixa. Já os cones são sensíveis às cores, e estes encontram-se no centro da retina, onde existe maior incidência de luz (Leão, 2005).



Figura 3 – Olho Humano [Gonçalves, 2010]

Todas as cores que um ser humano consegue visualizar, são designadas de cores primárias, sendo elas, o vermelho (Red), verde (Green) e azul (Blue), estas por sua vez podem produzir outras cores. Segundo um padrão, a CIE definiu os comprimentos de onda das cores primárias em azul  $\approx$  450nm, verde  $\approx$  500nm e vermelho  $\approx$  700nm.

As cores complementares são: amarelo (vermelho + verde), azul ciano (verde + azul) e magenta (azul + vermelho), sendo elas originadas a partir da combinação das cores primárias (figura 4) (Leite, 2006).



Figura 4 – Cores Primárias

Um sistema de cores é um protótipo que explica as propriedades ou o comportamento das cores. Existem vários sistemas de cor, em que os mais usados são: XYZ, RGB, CMYK, Lab, HSV, HLS, YIQ (Azevedo & Conci, 2003).

O primeiro espaço de cor definido pela CIE foi o sistema XYZ, e é caracterizado em se basear na perceção das cores, nos valores dos *tristimulus* e representar todas as

variações de cores que são visualizadas pelo homem. Os chamados *tristimulus values* são representados pelas componentes X, Y e Z (Daronco, 2007).

Os valores *tristimulus* XYZ são considerados fundamentais para a medição das cores, mas não fornecem uma representação imediata da cor, sendo necessário transformar esses valores noutro sistema de cor, por exemplo, o sistema RGB. Foi a partir dos valores XYZ, que a CIE construiu o sistema CIE 1931 Yxy. Nesse sistema a cor é representada pelas coordenadas de cromaticidade x, y e são representadas por um diagrama de cromaticidade (ver figura 5) (Holdschip, 2008).

As cores podem ser reproduzidas por um sistema designado espaço de cores (*color space*). Para descrever todas as cores visíveis, a CIE definiu três cores primárias, que podem ser combinadas para formarem as restantes cores, elas podem ser usadas para produzir um gráfico com todas as cores possíveis. Esse gráfico de cores CIE é representado pela seguinte figura 5 (Azevedo, *et al.*, 2003).



Figura 5 – Diagrama de cromaticidade CIE

A quantidade da fonte de luz possui três valores básicos: a radiância, a luminância e o brilho. A radiância é a quantidade total de energia de uma fonte de luz, sendo usualmente medida em watt. A luminância é medida em lúmen (lm), e faz referência à quantidade de energia de uma fonte de luz. O brilho é um descritor aparente, praticamente impossível de ser medido (Leite, 2006).

Na figura 5, visualiza-se o modelo RGB (triângulo interno da figura) através do diagrama de cromaticidade CIE, onde o conjunto de cores representado pelo triângulo interno, é designado pelo conjunto de cores RGB. Como se percebe na figura nem todas as cores do modelo RGB são visíveis (Daronco, 2007).

#### 2.3 – Espaços de cor

#### 2.3.1 - XYZ

O espaço CIE-XYZ é constituído por três componentes primárias X, Y e Z, no qual foram determinados a partir de combinações dos valores vermelho, verde e azul. Essas combinações têm como objetivo, definir um espaço que contém características relevantes, tais como: ser capaz de representar qualquer cor visível, os valores dos seus componentes devem ser sempre positivos, entre outros (Daronco, 2007).

Para que não existissem coordenadas de cromaticidade negativas foi criado o sistema CIE-XYZ. Este sistema foi criado com o intuito de se definir, que duas cores primárias têm luminância zero. Para se definir a primária X, traça-se uma reta que combina com o segmento retilíneo do diagrama de cromaticidade, e essa interseção com a reta de luminância zero. As outras duas primárias, são definidas por uma segunda reta que é tangente ao diagrama de cromaticidade, formado pela reta de luminância zero. A reta Z, está na reta de luminância zero e a Y no terceiro vértice do triângulo (figura 6) (Cavalcanti, 2000).



Figura 6 – Representação do espaço XYZ no diagrama de cromaticidade [Cavalcanti, 2000]

#### 2.3.2 – RGB

O modelo RGB constitui as cores primárias: vermelho (R), verde (G) e azul (B), sendo cada uma representada pelo comprimento de onda. Essas cores são originadas através de três componentes R, G, B. Como mostra a figura 7, a diagonal que vai do preto ao branco, é representada como a diagonal principal do cubo, que contém as quantidades iguais de cores primárias e caracteriza a proporção de cinza. Os pontos coloridos, dentro dos limites do cubo, são representados pelos valores RGB que podem variar entre zero e um, sendo estes os valores máximos. Não sendo assim possível que o olho humano visualize outras cores para além das cores primárias (Azevedo, *et al.*, 2003).

O RGB é um dos modelos mais usado atualmente, principalmente por dispositivos com capacidade de emissão de luz, como por exemplo, os monitores, os televisores, as câmaras de vídeo, entre outros. Esses dispositivos servem para capturar e exibir imagens, mas também utilizam esse modelo para permitir o armazenamento de imagens digitais.

RGB é um modelo não absoluto e orientado ao *hardware*. Quando uma imagem é exibida por dispositivos diferentes, podem resultar cores aparentemente diferentes. Por exemplo, as cores que são transmitidas num televisor podem ser totalmente diferentes, daquelas que filmamos através de uma câmara de vídeo, pois o conteúdo ou o interior é constituído de maneira diferente (Daronco, 2007).



Figura 7 – Subespaço do modelo RGB a partir dos eixos XYZ [Azevedo & Conci, 2003]

#### 2.3.3 - Transformações entre espaços de cor

#### 2.3.3.1 – De energia espectral para XYZ

O sistema XYZ das cores primárias da CIE, descreve as cores de forma virtual através de X, Y e Z. A criação deste sistema deveu-se à inexistência de um conjunto finito de cores primárias, que produzem todas as cores visíveis. Nesse sistema, as cores *Ci* podem ser expressas pela seguinte equação 5:

Ci = x.X + y.Y + z.ZEquação 5 – Cálculo das cores

em que X, Y e Z especificam os padrões das quantidades primárias, necessárias para descrever uma cor espectral. A normalização dessa quantidade em relação à luminância (X + Y + Z) possibilita a caracterização de qualquer cor. As cores desse sistema podem ser expressas, como combinações das quantidades normalizadas, tal como se verifica nas equações 6, 7 e 8:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

Equação 6 - Cálculo da quantidade de x

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

Equação 7 - Cálculo da quantidade de y

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

#### Equação 8 - Cálculo da quantidade de z

com x + y + z = 1. Assim, qualquer cor pode ser definida apenas pelas quantidades de x e y, que por dependerem apenas da matriz e da saturação, são denominadas de coordenadas de cromaticidade.

O sistema XYZ é composto por cores imaginárias, que anteriormente são definidas matematicamente. As coordenadas de cromaticidade x e y permitem representar todas as cores num gráfico 2D. O esboço dos valores normalizados de x e y, são para as cores do espectro visível que resulta na curva ilustrada na figura 8 (Leite, 2006).



Figura 8 – Diagrama de coordenadas de cromaticidade x e y da CIE

As cores são representadas no espectro eletromagnético e classificadas de acordo com os seus comprimentos de onda. Essas cores estão apresentadas ao longo da curva, que vai da extremidade (cor vermelha) até à outra extremidade (cor violeta). Todas as cores internas à curva, correspondem a todas as combinações possíveis de cores visíveis, e o ponto corresponde à posição da luz branca (figura 8).

Através do diagrama, é possível determinar e comparar os espaços de cores dos vários conjuntos de cores primárias; identificar as cores complementares (a soma de

todas as cores produzem a cor branca); determinar o comprimento de onda e a saturação de uma cor (Leite, 2006).

A CIE em 1931, criou um modelo com três cores primárias designadas por X, Y e Z, que substituíam as cores primárias, vermelha, verde e azul.

Os valores que vão ser calculados através do espectroradiómetro, são convertidos para a cromaticidade CIE com valores de X, Y e Z. As três cores correspondentes às funções  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$ , são nomeadas por Colour Matching Functions (ver figura 9).



Figura 9 – Função das cores [Roussos & Chalmers, 2003]

Através das equações 9, 10 e 11 iremos calcular os valores de X, Y e Z, onde se irá multiplicar a energia espectral pelas funções de correspondência, e pelo intervalo de amostragem em cada comprimento de onda, por fim, é feito o somatório de todos os valores (X, Y e Z) e multiplicado pela constante K. Seguidamente, obter-se-á os valores totais de X, Y e Z

$$X = K \sum_{\lambda 1}^{\lambda 2} P(\lambda) \, \bar{x}(\lambda) \Delta \lambda$$

Equação 9 - Cálculo do valor de X

$$Y = K \sum_{\lambda 1}^{\lambda 2} P(\lambda) \, \bar{y}(\lambda) \Delta \lambda$$



$$Z = K \sum_{\lambda 1}^{\lambda 2} P(\lambda) \, \bar{z}(\lambda) \Delta \lambda$$

#### Equação 11 - Cálculo do valor de Z

onde, em cada equação o valor de  $\lambda 1$ , é o comprimento de onda no início do espectro (380nm), o  $\lambda 2$  é o comprimento de onda no final do espectro (780nm), o  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$ são funções de correspondência CIE, o P( $\lambda$ ) é a energia espectral e o  $\Delta\lambda$  é o intervalo de amostragem. O K é a constante de normalização, dada pela equação 12:

$$K = \frac{100}{\sum P(\lambda)\bar{y}(\lambda)\Delta\lambda}$$

Equação 12 - Cálculo do valor de K

K é definido geralmente por 683 lm/watt. (Hoffmann, 2002; Roussos & Chalmers, 2003)

#### 2.3.3.2 – De XYZ para RGB

A conversão do sistema XYZ para o sistema RGB é obtida pela equação 13, mas também existe a conversão do sistema RGB para o sistema XYZ, que é representada pela equação 14.

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Rx & Ry & Rz \\ Gx & Gy & Gz \\ Bx & By & Bz \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

Equação 13 – Cálculo da matriz 3x3 de XYZ

[ <i>X</i> ]		Xr	Хg	Xb	[R]	
Y	=	Yr	Υg	Yb	G	
$\lfloor Z \rfloor$		Zr	Zg	Zb	$\lfloor B \rfloor$	

Equação 14 - Cálculo da matriz 3x3 de RGB

(Hoffmann, 2002; Roussos, et al., 2003)

#### 2.4 - Temperatura de Cor

Quando um objeto é aquecido a temperaturas elevadas, este emite luzes diferentes, que podem ir desde do vermelho, laranja, amarelo e branco. A medida da cor da luz é em Kelvin, sendo que a luz da vela tem uma temperatura de cor aproximadamente de 2000 K; a luz do dia próxima dos 5000 K; o azul celeste tem entre 12000 K e 18000 K e por último o céu nublado tem uma temperatura de cor de 6250 K. A luz branca contém uma mistura de todas as cores do espectro (Cunha, 2001). Todos os objetos emitem e absorvem continuamente energia. A temperatura de cor está relacionada com a quantiade da energia irradiante e com a propriedade da sua fonte geradora (Leite, 2006). Atualmente, as fontes de luz são conhecidas como fontes ou iluminantes, que são descritos pela sua temperatura de cor e pela sua distribuição espectral.

Na figura 10, está representado as curvas espectrais de várias temperaturas de cor. Indicando assim que a 2000 K obteve-se um vermelho forte, geralmente chamado de "vermelho quente". Nas temperaturas entre 3000 K e 4000 K, a cor da luz mudou do vermelho forte para o laranja e amarelo. Entre 5000 K e 7000 K, a luz emitida pelos corpos negros, é representada de forma relativamente horizontal no espectro visível, produzindo um branco neutro. As altas temperaturas, acima de 9000 K, produzem uma luz mais azul, devido a predominância dos comprimentos de onda curtos (Leão, 2005).



Figura 10 – Temperatura de Cor [Leão, 2005]

## apítulo III - Simulação da iluminação em ambientes

#### virtuais históricos

Até meados do século XIX apenas existiam dois tipos de iluminações que eram utilizadas: a luz natural, que é definida como o sol, estrelas e luar, e ainda a luz artificial por intermédio do fogo/chama. O homem aprendeu a fazer fogo e foi através deste que se protegeu do frio, dos animais selvagens, para cozer os alimentos e iluminar as noites, sendo esta a primeira fonte de luz artificial. Com a descoberta dos combustíveis que contribuíram para o desenvolvimento de novas fontes de luz, surgiram as tochas, as lamparinas a óleo, as velas, entre outros tipos de iluminação (Forbes, 1966; Lima, 2009). Após um desenvolvimento da evolução das tecnologias de iluminação, são abordados alguns trabalhos relacionados com o que se pretende desenvolver.

#### 3.1 - Evolução das tecnologias de iluminação

Em termos de evolução da iluminação, há que considerar dois fatores distintos: o combustível usado e os suportes/dispositivos onde é colocado o combustível. Existem vários tipos de combustíveis, por exemplo, os combustíveis sólidos (madeira, cera) ou os combustíveis líquidos de origem vegetal ou animal (óleo de sésamo, azeite, gorduras). Relativamente aos suportes/dispositivos temos as tochas, as lucernas, os candelabros, entre outros. Nas secções que se seguem ao longo deste trabalho, serão abordados de uma forma mais pormenorizada, os vários tipos de combustíveis e suportes que surgiram ao longo da história da iluminação. Foi através do fogo que surgiu o primeiro combustível, e para que este fosse recolhido foi necessário criar um suporte. Esses suportes foram evoluindo ao longo dos tempos, tendo inicialmente sido os chifres, conchas e pedras.
Conforme indicam os autores Lima e Serrat, nos tempos passados só existia a luz do sol para iluminar as pessoas, o que implicava que estes só podiam executar as suas tarefas no momento que o sol nascia até ao momento que o sol se punha. Contudo, o Homem teve a necessidade de adquirir soluções, para que este pudesse executar as suas tarefas, desde das mais simples às mais complicadas. Assim, o desenvolvimento das fontes de luz artificiais permitiu a execução de atividades a qualquer hora do dia (Lima, 2009; Serrat, 2006).

### 3.1.1 – Pré-história

O fogo é uma demonstração de combustão rápida com a produção de luz e calor. Chama-se fogo ao resultado de um processo exotérmico de oxidação, que emite radiação eletromagnética nas faixas do infravermelho e do visível. No entanto, o fogo pode ser percebido como uma entidade gasosa emissora de radiação, e consequente da combustão (figura 11).

Aproximadamente há 500 mil anos o fogo simbolizava uma conquista, pois era através dele que o Homem se protegia do frio, dos animais, curavam feridas, fazia de comer e se iluminava durante as noites frias e escuras (Bolani, 2001; Lima, 2009).



Figura 11 – Fogo da pré-história

O maior obstáculo com que o Homem se deparou ao longo da sua evolução, foi a produção do fogo. Deste modo, com o passar do tempo, e com diversas descobertas o Homem passou a produzir fogo, utilizando duas pedras batendo uma contra a outra até fazer faísca (Lima, 2009).

Lima e Bolani, consideraram que para além da madeira, existiam combustíveis que eram criados através de fontes de energia para alimentar o fogo. Os primeiros combustíveis, eram um líquido viscoso que poderia ser uma fonte de alimentação, para que as chamas se mantivessem acesas. Esse líquido viscoso era formado a partir da carne colocada sobre as brasas, em que a gordura ia escorrendo e pingando, fazendo com que as brasas elevassem a chama no local onde tinha caído o pingo de gordura. Para recolher esses líquidos, usavam como recipientes chifres de animais, conchas marinhas e pedras que tinham cavidades naturais. Essas pedras eram feitas com uma trança vegetal que depois era mergulhada num líquido, uma forma de proporcionar luminosidade. A primeira lucerna de pedra surgiu há cerca de 20000 anos, marcando a história da iluminação artificial (Bolani, 2001; Lima, 2009).

Posteriormente, surgiram as lucernas de barro (figura 12), provavelmente por volta de 7000 anos A.C. O homem apercebeu-se que quando fazia fogueiras usando a madeira, o barro que permanecia ao redor da fogueira tornava-se endurecido e quando pisava o terreno pantanoso, as próprias pegadas solidificavam com os efeitos dos raios solares. Isso fez com que o homem, recolhesse esse barro para o transformar em pequenas e leves tigelas com forma irregular, com bordas levantadas e um bico saliente. Estes artefactos iriam substituir as grandes e pesadas lucernas de pedra (Bolani, 2001; Lima, 2009).



Figura 12 – Lucerna de barro [Lima, 2009]

# 3.1.2 – História antiga

Na história antiga, uma forma de iluminação bastante usada foram as tochas tradicionais. Estas eram fixas e iluminavam grandes áreas, como fóruns públicos e

anfiteatros, sendo um grande exemplo o circo Máximo e o Coliseu em Roma. Na Grécia, as mesmas eram usadas para a iluminação pública, e em momentos festivos eram retiradas do seu ponto fixo e tornavam-se manuais.

Mais tarde surgiram as lucernas de cerâmica que foram inventadas no séc. I A.C, em que a luz era gerada através de combustível queimado. A luminosidade foi melhorando não pelos seus avanços técnicos, mas sim pelo desenvolvimento do pavio.

As lucernas de cobre surgiram no Egipto há cerca de 5000 anos A.C. O cobre combinado com o estanho, fez com que surgisse um material mais duro e resistente, designado de bronze. O surgimento do bronze, teve uma mais-valia para o avanço da civilização, assim como, para o nascimento da metalúrgica, o que deu início para diversas produções, nomeadamente as lucernas, que adquiriram melhores formas e durabilidade.

Os castiçais surgiram posteriormente, e o Homem entendeu que quanto mais alta fosse a fonte de iluminação, mais amplo se transformava o espaço iluminado. O castiçal era de pedra e por cima era colocada uma lucerna, onde mais tarde esta mesma seria substituída por uma vela (figura 13) (Bolani, 2001).



Figura 13 – Castiçal

As velas devem ter surgido por volta de 2000 anos A.C, cuja constituição é: o corpo da vela é geralmente feito de sebo ou cera de abelha, depois é colocado no centro o pavio, em que eram cordões revestidos com breu endurecido. Fazendo com que as velas ganhassem um formato geométrico regular (figura 14) (Bolani, 2001; Lima, 2009).

A palavra "candela", significa uma vela com um pavio de estopa (parte grossa do linho), o miolo de junco ou de fibra vegetal que é mergulhada em sebo ou cera. A vela foi desenvolvida ao longo dos séculos, e em 1825, o pavio foi melhorado deixando de ser mechas de algodão, e passou a ser um pavio entrelaçado, como hoje é conhecido (Forbes, 1966).

Em 1830, surgiu a parafina sendo esta um subproduto do petróleo, esta é mais dura e menos gordurosa que o sebo. Em 1854, a parafina e a estearina, foram combinadas para que as velas se tornassem mais semelhantes, com as velas que são hoje usadas.



Figura 14 – Vela

No séc. III A.C, os candelabros eram derivados dos castiçais por terem maior altura e por poderem suportar mais fontes luminosas (figura 15). Ao longo do tempo, o material de que era feito o candelabro foi evoluindo, primeiro eram feitos com lucernas, e posteriormente passaram a ser feitos com braços onde eram colocadas velas.



Figura 15 – Candelabro [Lima, 2009]

Aproximadamente no séc. I A.C, os Romanos usavam as lanternas que eram feitas de argila com uma alça geralmente cilíndrica, não sendo possível move-las. As lanternas eram exclusivamente para se usarem dentro do quarto (Bolani, 2001).

#### 3.1.3 – Idade média

Durante o período renascentista, apareceu um novo artefacto mais conhecido por lanterna, que era constituída com um simples braço de metal/madeira com uma vela dentro da mesma, e caracterizava-se pela sua mobilidade (figura 16). Contudo, na Alemanha, foi aplicada à lanterna uma base de encosto com a finalidade de proteger as paredes dos incêndios. Este artefacto tornou-se um suporte valioso de iluminação, servindo ainda para decoração dos lares (Lima, 2009).



Figura 16 – Lanternas de metal

## 3.1.4 – Idade moderna

No século XV, surgiram as primeiras lanternas pênseis de bronze ou de madeira embutida. Já no século XVI, os edifícios públicos, progressivamente foram progredindo na visibilidade urbana, com a utilização de lanternas de ferro nas esquinas dos grandes edifícios. No final do século XVII, os portugueses trouxeram para o novo domínio os meios de que dispunham para se iluminarem, sendo eles as velas e as lamparinas a azeite (Lima, 2009).

### 3.1.5 – Idade contemporânea

Com o passar do tempo houve uma evolução, no que se refere à iluminação artificial, passando a substituir os tradicionais combustíveis que assinalaram a sua história, marcada pela descoberta e utilização do gás, e posteriormente a descoberta do petróleo. Mais tarde surgiu a energia elétrica, iniciando-se o progresso das lâmpadas incandescentes (Lima, 2009).

## 3.2 - Simulação das fontes de luz

### 3.2.1 – Caracterização de fontes de luz

Devlin e Chalmers (Devlin, et al., 2001), reconstruiram a Casa do Vétio em Pompeii, o que permitiu observar como esta seria antes da erupção do Vesúvio em 1979 D.C, onde os "frescos" ainda se mantinham muito bem preservados. O objetivo consistiu, em produzir imagens que recriam a iluminação dos tempos passados. Estes incluíram velas de cera de abelha, velas de sebo (de origem vegetal), luminárias de gordura animal e luminárias a azeite. As fontes de luz utilizadas pelos autores ao longo das suas experiências foram as luminárias a azeite, luminárias a azeite com água e por luminárias a azeite com sal. A experiência efetuou-se com um último espectroradiómetro, que permitiu que medissem os valores espectrais. As medidas foram realizadas numa sala completamente escura; colocando a luminária contra uma placa difusa, para que só refletisse a luz proveniente da luminária, essa placa difusa tinha um fator de reflexão de 99%; realizaram-se dez leituras para cada combustível e calculou-se a média de cada um; estes dados foram convertidos em valores RGB. Os resultados obtidos são representados na figura 17, em que é evidente as cenas iluminadas com luminárias (figura 17b a 17d), aparecendo mais quente na aparência quando comparado com a luz moderna (figura 17a), com pigmentos amarelados e avermelhados.



Figura 17 – (a) iluminação moderna (b) luminárias a azeite (c) luminárias a azeite com sal (d) luminárias a azeite com água [Devlin & Chalmers, 2001]

Chalmers (Chalmers, 2002), retratou um dos mais simbólicos exemplos das grutas no período do paleolítico superior, Cap Blanc em França. O objetivo foi criar imagens

que representavam cenas reais, iluminadas por velas. A experiência foi realizada com um espectroradiómetro, que é capaz de medir uma fonte de luz no comprimento de onda (380nm a 780nm), os valores foram convertidos em valores RGB, que representam o vermelho, verde e azul, as imagens foram processadas usando Radiance. Os resultados são apresentados na figura 18, em que a figura 18 (a) exibe o cavalo iluminado por uma lâmpada incandescente 55W, e a figura 18 (b) o cavalo iluminado por uma vela de gordura animal como era vista à 25000 anos atrás. As diferenças entre as duas imagens evidenciam-se, uma vez que com a iluminação de uma lâmpada, a imagem não é tão nítida e não sobressai o cavalo no fundo cinzento, já com a iluminação da vela a imagem fica com contornos, e observa-se um aumento nas sombras.



Figura 18 – Cavalo iluminado por uma (a) lâmpada incandescente 55W (b) vela de gordura animal [Chalmers, 2002]

Devlin, et al., (Devlin, *et al.*, 2002) elaborou um modelo baseado no Museu da Casa Medieval em Southampton, uma estrutura renovada pelo património Inglês, com a maior precisão possível para representar uma casa do séc. XIII, de um determinado estatuto socioeconómico (figura 19). O objetivo consistiu em fazer a simulação da iluminação realista, permitindo recriar a iluminação original de um sítio arqueológico e mostra-la como poderia ser no passado. A fim de obter uma aproximação da iluminação original, dois fatores foram abordados no processo de renderização. Primeiro, a composição espectral da cor através da luz emitida pelo combustível queimado – correspondendo ao tipo de combustível que teria sido usado antigamente. Segundo, a distribuição da luz – o comportamento da luz no mundo real. Estes incluíram velas de sebo (de origem vegetal), luminárias de gordura animal, velas de cera de abelha, luminárias a azeite (mas só com azeite, outro com azeite e sal e outro com azeite e água). Cada um destes combustíveis produziu uma cor diferente quando queimado. Para

obter o perfil espectral de cada um dos combustíveis, foi usado um espectroradiómetro. As medidas foram feitas numa sala completamente escura; a luminária foi colocada contra uma placa difusa, com o intuito de refletir a luz proveniente da luminária, a placa difusa tinha um fator de reflexão de 99%; dez leituras foram feitas para cada combustível e foi feita uma média de cada um; os resultados dos dados da luminária foram convertidos em vermelho, verde e azul (RGB), fornecendo os dados essenciais durante a renderização para simular o tipo de combustível da fonte de luz original. A figura 19, mostra-nos o resultado obtido por Devlin.



### Figura 19 – Simulação da Casa Medieval (vista de cima) [Devlin, et al., 2002]

Roussos, et al., (Roussos, et al., 2003) descrevem a reconstrução do palácio de Knossos em Creta (Grécia) que foi destruído em 1700 A.C por um terramoto, o palácio foi decorado com alguns "frescos" dos quais sobreviveram e foram restaurados. Nessa reconstrução incluíram a modelagem da chama que pode ter sido usada para iluminar o interior como era visto no passado. A sala de trono foi umas das últimas construções do palácio de Knossos, construída entre 1400 e 1450 A.C, esta foi escolhida para a investigação, por duas razões. Primeiro, devido ao seu papel importante nos tempos antigos, e segundo, pela forma da pintura dos "frescos". O objetivo do trabalho pretendia criar uma chama. Essa iluminação foi simulada através do software Radiance ou 3ds Max 5.0, onde a chama das velas e lucernas foi modelada. Para que obtivessem uma iluminação possível para medir os dados espectrais de vários combustíveis, que podem ter sido usados em Knossos, incluindo cera de abelha, azeite, óleo de sésamo e óleo de gordura animal, usaram um espectroradiómetro (figura 20). Esses valores espectrais, foram convertidos para as coordenadas de cromaticidade CIE XYZ e finalmente, em valores RGB. Os resultados dos três diferentes cenários da iluminação moderna, da vela de cera de abelha e da luz do dia, são apresentados na figura 21. A figura 21 (a), mostra-nos a sala de trono iluminado por uma vela de cera de abelha, a

figura 21 (b), a mesma visão mas iluminada por uma luz moderna e finalmente, a figura 21 (c), a sala de trono à luz do dia como pode ter sido vista ao meio-dia em 18 de Agosto de 1400 A.C. As imagens mostram claramente, que existe uma diferença significante da reconstrução do sítio iluminado.



Figura 20 – Saída espectral da vela de cera de abelha [Roussos, et al., 2003]



## Figura 21 – Sala de trono (a) iluminado por uma vela de cera de abelha (b) iluminado por uma luz moderna (c) vista ao meio-dia em 18 de Agosto de 1400 A.C [Roussos, et al., 2003]

Sundstedt, et al., (Sundstedt, et al., 2004) descreve a metodologia a ser usada para a reconstrução e simulação da iluminação do templo Egipto. O antigo templo de Kalabsha no Egipto em 1963, foi desmontado e transferido para um novo local, para ser salvo da subida das águas do Nilo e da barragem de Aswan. O objetivo era reacender o templo usando a iluminação antiga. Óleos vegetais, de azeite e sésamo, e óleos de gordura animal, foram usados como combustível para as luminárias. Sendo a iluminação essencial para a reconstrução de um sítio arqueológico, os dados espectrais da chama foram recolhidos através de um espectroradiómetro. Este aparelho mede a fonte de luz no comprimento de onda 380nm a 780nm. As medidas foram realizadas numa sala completamente escura; a luminária foi colocada contra uma placa difusa, para que refletisse apenas a luz proveniente da luminária, a placa difusa tem um fator de reflexão de 99%; realizaram-se dez leituras para cada combustível, fazendo-se a média de cada um, onde estes dados são convertidos em valores RGB. Os dados espectrais de azeite biológico são mostrados na figura 23. A luz solar era uma característica

fundamental na antiga região do Egipto, pois através desta, os monumentos eram iluminados. Não é possível saber como a luz solar se comportava, devido ao templo já não estar localizado no local original. A figura 22, ilustra o templo como era visto hoje, e realça como o templo pode ter aparecido no passado com todas as colunas intactas. Para além do exterior, o interior também foi alvo de estudos, devido aos descoloridos hieróglifos existentes (figura 24). A figura 24 (a), mostra coloridos hieróglifos iluminados com iluminação moderna, a figura 24 (b), foi iluminado por uma luminária de óleo de sésamo. Contudo, os resultados revelaram que a cor azul, é claramente azul na luz moderna, e quase verde quando iluminado por uma luminária de óleo de sésamo.



Figura 22 - Reconstrução de Kalabsha como aparece hoje [Sundstedt, et al., 2004]



Organic olive oil

Figura 23 – Dados espectrais de azeite biológico [Sundstedt, et al., 2004]

Figura 24 – Hieróglifos iluminados com (a) iluminação moderna (b) uma luminária de óleo de sésamo [Sundstedt, et al., 2004]

O objetivo de Zányi, et al., (Zányi, *et al.*, 2007) baseava-se em reacender o ícone de Cristo Arikiotis no Chipre, para que surgir-se sob a iluminação moderna como ele pode ser visto no museu atualmente, e à luz de velas como pode ser visto no passado. Técnicas experimentais arqueológicas foram usadas para construir réplicas de velas e luminárias a óleo. Para medir os dados espectrais utilizaram um espectroradiómetro, que era capaz de medir o espectro de emissão de uma fonte de luz de 380nm a 780nm, ao longo do comprimento de onda. A figura 25, aponta o perfil espectral para uma vela de cera de abelha. Para a simulação da iluminação usou-se o Radiance. A figura 26 (a), indica a simulação do ícone iluminado por uma iluminação moderna, enquanto a figura 26 (b), exibe o mesmo ícone iluminado por velas de cera de abelha. Como ilustra a figura 26, existe uma clara diferença entre os dois ícones. Na iluminação moderna, o ouro que constitui o fundo é muito brilhante, e os detalhes de Cristo muito claro. Já no ícone com a vela de cera de abelha, o ouro de fundo aparece a "brilhar", e os detalhes de Cristo não são tao luminosos.



Figura 25 – Perfil espectral para uma vela de cera de abelha [Zányi, et al., 2007]



Figura 26 – Simulação do ícone (a) iluminado por uma iluminação moderna (b) iluminado por velas de cera de abelha [Zányi, et al., 2007]

Gonçalves, et al., (Gonçalves, 2010; Gonçalves, et al., 2009; Gonçalves, et al., 2007a; Gonçalves, et al., 2007b) efetuou a reconstrução da Casa dos Repuxos mais concretamente, a "Sala de Caçada", por ser um espaço mais bonito e grandioso nas ruinas de Conimbriga (Portugal), uma antiga cidade romana, devido ainda hoje preservar alguns dos "frescos" e mosaicos originais, onde se pode perceber uma parte do mosaico totalmente intacto, e os vestígios de alguns "frescos" nas paredes. O objetivo centra-se na geração de imagens HDR desses "frescos" e mosaicos iluminados por luminárias, desse período de modo a que a experiência visual seja a mais próxima possível de um habitante, daquela mesma casa. Nesse sentido, propõe-se gerar imagens HDR, que reflitam com exatidão a iluminação de uma civilização Romana. Para gerarem imagens HDR de cenários virtuais, foi necessário usarem um modelo físico de iluminação (Physically Based Rendering), que efetua-se o rendering da cena com base na simulação da luz, esse modelo físico era designado de Radiance. A distribuição espectral dependeu do tipo de combustível usado, e foi medida com um espectroradiómetro. As experiências realizaram-se no Centro de Ótica da Universidade da Beira Interior (figura 27). As medições foram executadas nas seguintes condições e configurações: uma sala completamente escura sem qualquer tipo de iluminação (exceto a proveniente da luminária), para não haver alterações nos resultados; a luminária foi colocada contra a placa difusa, para que só se refletisse a luz proveniente da luminária. A placa usada nestes testes teve um fator de reflexão na ordem dos 99%; as medições foram feitas com todas as amostras de azeite, e com configurações diferentes (com e sem sal); para evitar leituras erradas, foram realizadas dez leituras com o espectroradiómetro, e para cada configuração foi feita um cálculo com o valor médio de

cada um; as medições foram feitas em intervalos de 4nm, no âmbito visível do espectro eletromagnético. A figura 28, mostra-nos um "fresco" original e a sua reconstrução digital.



Figura 27 – Testes de iluminação onde é visível a lucerna em combustão [Gonçalves, et al., 2007b]



Figura 28 – Um "fresco" original (à esquerda) e a sua reconstrução digital (à direita) [Gonçalves, et al., 2009]



Figura 29 – Resultados das medições de iluminação com quatro configurações diferentes [Gonçalves, et al., 2009]

A figura 29, ilustra os resultados das medições de iluminação. As linhas S1 e S2, ilustram os resultados obtidos das duas amostras de azeite fabricado com velhos métodos tradicionais, que produzem os resultados de menor valor, portanto, menor intensidade de luz. Considerando que a linha S3 se refere à amostra com azeite

comercial comum, uma vez que é um produto fabricado em uma fábrica moderna. A partir dos resultados, previu-se que o azeite teve implicações na intensidade da luz produzida por uma luminária de azeite, quando foi adicionado sal ao combustível, originou uma chama mais estável e mais brilhante. Os métodos antigos de fabricação produziram valores inferiores de intensidade. A linha S1-Sal, que produziu os resultados mais elevados, foi obtida a partir da primeira amostra (S1), precisamente a que teve os valores mais baixos. O facto mais surpreendente foi que houve um aumento real na intensidade da luz de mais de 60%.

Papadopoulos e Earl (Papadopoulos & Earl, 2009), descreveram um projeto de pesquisa, para criar uma série de leituras do conjunto de dados do cemitério de Minos em Phourni, em Creta. Esta tentativa de avaliar a arquitetura dos túmulos, a sua capacidade, bem como a constituição de iluminação para o seu interior, pretendeu utilizar a metodologia de C.G. O objetivo inicial desta pesquisa, foi utilizar o modelo geométrico do cemitério em diversas fases, a fim de observar se o software utilizado era eficiente com os fenómenos da iluminação indireta. O software 3ds Max 2009, foi utilizado para criar modelos 3D de acordo com os desenhos digitalizados, usando primitivas geométricas, adição de materiais e texturas. Com o intuito de obter uma estimativa da iluminação original em uma representação arqueológica, dois fatores foram abordados. Em primeiro lugar, a composição espectral da luz, ou seja, a cor de luz emitida pela queima do combustível, e em segundo lugar, a distribuição da luz em torno da cena. O estudo da iluminação, foi baseado em dados obtidos por Roussos durante a sua pesquisa, analisando a cera de abelha, azeite, óleo de sésamo e óleo de gordura animal em comparação com luminárias modernas, utilizando um espectroradiómetro. Para este projeto, usaram-se os dados fornecidos pela luminária de Roussos, e converteu-se para os valores RGB de acordo com as normas da CIE. Os resultados obtidos são apresentados nas figuras 30 e 31.



Figura 30 – Primeira fase de Tholos Tomb C com um telhado e uma pequena abertura (30 de Julho, às 15h00 de 2007) [Papadopoulos & Earl, 2009]



Figura 31 – Segunda fase de Tholos Tomb C (30 de Julho, às 15h00 de 2007) [Papadopoulos & Earl, 2009]

### 3.2.2 - Simulação das chamas

Louchez, et al., (Louchez, *et al.*, 2006) realizou a reconstrução do fórum galoromano de Bavay, propondo um modelo que reproduz a forma, animação e iluminação de uma simples chama, produzida por velas e luminárias de óleo em tempo real. O objetivo neste trabalho, resumia-se em permitir a animação interativa e realista de uma simples chama simulando a iluminação. No seguimento deste artigo, descreve-se o projeto CyberForum, que consiste em reconstruir e visualizar de forma iterativa, o fórum galo-romano de Bavay no norte de França. Propõem-se, formas simples de simular chamas usando superfícies NURBS. Essa abordagem funciona muito bem para o modelo de lamparinas a óleo, já para o modelo da chama de vela tem as suas controvérsias. Usou-se um espectrofotómetro para capturar as distribuições espectrais e fotométricas da vela e da lamparina a óleo. A figura 32 (a), exibe uma vela real e a figura 33 (a), uma lamparina de óleo real. Os resultados obtidos indicam que a cor principal da chama é branca, as formas das chamas virtuais (figura 32 (b) e figura 33 (b)), são bastantes próximas das reais, e a sua animação é tão dinâmica e sensível às forças externas.



Figura 32 – Chama de uma vela (a) real (b) virtual [Louchez, et al., 2006]



Figura 33 – Chama de uma lamparina a óleo (a) real (b) virtual [Louchez, et al., 2006]

# apítulo IV - Metodologia para caracterização de fontes

# de luz

Neste capítulo é proposta uma metodologia para a caracterização de fontes de luz, tendo em vista a sua utilização em ambientes virtuais. Após a descrição geral da metodologia, são abordados os métodos usados na recolha de dados que permitem a determinação dos parâmetros utilizados para modelar a fonte de luz. Em seguida, é apresentado um caso de estudo com velas atualmente disponíveis para validar a metodologia proposta. Por fim, os parâmetros determinados recorrendo à metodologia desenvolvida, são usados para realizar a simulação da fonte de luz da vela, com o software 3ds Max.

# 4.1 - Descrição geral da metodologia proposta

A metodologia divide-se em duas etapas principais conforme se esquematiza na figura 34.



Figura 34 – Metodologia proposta

Na primeira etapa, o método utilizado para a recolha de dados baseia-se na utilização de um espectroradiómetro para se determinar a distribuição espectral da luz emitida. Com base na radiância espectral da luz, podem ser calculados os valores RGB, referentes à cor da luz emitida pela fonte de luz, ou a sua temperatura de cor. Na segunda etapa, recorre-se a um fotómetro para se obter a distribuição espacial da intensidade da luz, em função da distância e em função da variação angular. Esta informação permite a construção de um modelo da variação da intensidade da luz emitida, representado sob a forma de um diagrama goniométrico. A partir dos parâmetros obtidos é possível modelar a fonte de luz e simular o seu comportamento num ambiente virtual.

### 4.1.1 - Determinação da distribuição espectral

O método que se propõe nesta secção baseia-se nos métodos usados por outros autores (Devlin, *et al.*, 2001; Gonçalves, 2010; Roussos, *et al.*, 2003; Sundstedt, *et al.*, 2004) e referidos no capítulo 3. Nesses métodos, é comum usar um espectroradiómetro para determinar a radiância espectral da fonte de luz. A fim de assegurar a validade e rigor da obtenção dos dados com o espectroradiómetro, a experiência deve ser conduzida sob as seguintes condições:

- Sala completamente escura e fechada, evitando, no caso de fontes de luz com chama, qualquer tipo de corrente de ar para não perturbar a chama;
- Efetuar dez leituras, para minimizar o efeito de erros nas leituras, usando como resultado a média dessas dez leituras. No caso de fontes de luz com chama as variações entre leituras podem ser significativas;
- A fonte de luz deve ser colocada contra uma placa difusa com um fator de reflexão na ordem dos 99%, para que seja completamente refletida a luz proveniente da fonte de luz;
- O espectroradiómetro deve ser colocado perpendicularmente à placa difusa (figura 38);
- A leitura deve ser feita exclusivamente a partir da luz refletida na placa difusa, e não da fonte de luz;
- Segundo Barcellos, o espectroradiómetro e a fonte de luz, devem ser posicionados num ângulo de 45°, como exibido na figura 35 (Barcellos, 2011);

 Todas as superfícies refletoras devem ser tapadas, por exemplo, usando um pano preto, para evitar que os reflexos que daí provenham influenciem os resultados da experiência.



Figura 35 – Posição da fonte de luz (vela) em relação à placa difusa e ao espectroradiómetro [Barcellos, 2011]

Uma vez obtidos os valores da radiância espectral, usam-se as equações 9, 10 e 11 para determinar os valores de X, Y e Z. Usando a equação 13, os valores de XYZ são convertidos para RGB. Caso os valores obtidos sejam inferiores a zero ou superiores a 255, tomam o valor respetivamente, de zero ou 255. Desta forma, evita-se que os valores de RGB estejam fora da gama de valores válidos.

Uma vez que o espectroradiómetro usado na recolha de dados fornece diretamente a temperatura de cor, esse valor pode ser usado em alternativa aos valores RGB, para definir a cor da luz emitida pela fonte de luz.

## 4.1.2 - Determinação da distribuição espacial da intensidade

A determinação da intensidade da luz proveniente da fonte de luz deve ser efetuada recorrendo a um dispositivo com essa capacidade, por exemplo, um fotómetro,

o valor da intensidade é expresso em candelas (cd). Dependendo das grandezas medidas pelo fotómetro, pode ser necessário efetuar uma conversão para a unidade de medida adotada. A fim de assegurar a validade e rigor da obtenção dos dados com o fotómetro, a experiência deve ser conduzida sob as seguintes condições:

- Uma sala completamente escura sem qualquer tipo de iluminação (exceto a proveniente da fonte de luz), para não haver alterações nos resultados;
- Efetuar dez leituras, para minimizar o efeito de erros nas leituras, usando como resultado a média dessas dez leituras. No caso de fontes de luz com chama as variações entre leituras podem ser significativas;
- O fotómetro deve ser colocado perpendicularmente à fonte de luz (figura 44);
- A leitura deve ser feita diretamente da fonte de luz.

Para se construir um modelo da distribuição espacial da intensidade, começa-se por medir a variação da intensidade em função da distância à fonte de luz, escolhendo uma direção perpendicular ao plano definido pela fonte de luz. A intensidade da luz emitida é medida a diferentes distâncias da fonte de luz (ver figura 36). A seleção das distâncias é efetuada tendo por base um conjunto de testes iniciais, os quais servem para identificar a distância mínima, a distância máxima e o número mínimo de pontos de medida que são necessários para caracterizar o valor da intensidade em função da distância. Depois de efetuadas as medições e com base nos dados obtidos é determinada a função que melhor se aproxima dos dados. Usualmente é escolhido um modelo linear ou um modelo quadrático. Para se obter a distribuição da intensidade num volume, é também necessário conhecer a variação da intensidade da luz em função da variação angular à fonte de luz. Para tal, são efetuadas diversas medidas da intensidade da luz com diferentes ângulos, mas mantendo a distância à fonte de luz.



Figura 36 – Setup experimental para a medição da intensidade luminosa

Deste modo é possível descrever a distribuição de luz como um campo de vetores: a intensidade da luz emitida em qualquer direção é representada pela magnitude do vetor nessa direção. Na caracterização das fontes de luz é habitual recorrer-se a diagramas goniométricos, pelo facto de ser difícil representar um campo vetorial. Os diagramas goniométricos representam uma fatia plana através do campo de vetores, e assim, traçam a intensidade como uma função da direção angular (ver figura 37). Quando a geometria da fonte da distribuição de intensidade têm simetrias rotacionais, é suficiente um diagrama goniométrico para representar a distribuição de intensidade. Na metodologia proposta assume-se que as fontes de luz a modelar têm essa característica (Bouatouch & Bouville, 1992).



Figura 37 – Diagrama goniométrico [Autodesk, 2012]

A seleção dos ângulos para os quais são realizadas medições, é efetuada tendo por base um conjunto de testes iniciais, os quais servem para identificar o número mínimo de pontos de medida que são necessários para caracterizar o valor da intensidade em função da variação angular. Os dados serão armazenados num ficheiro, por exemplo, no formato IES (anexo D).

## 4.2 - Caso de estudo: vela

Como objetivo de validar e de avaliar, a metodologia proposta foi aplicada na caracterização da luz emitida pela chama de velas. Como foi referido no capítulo 3, os

materiais usados na antiguidade para a construção das velas dependiam, por um lado dos materiais disponíveis na região onde eram construídas, mas também da evolução tecnológica. Dado ser difícil reproduzir com exatidão o diferente tipo de velas que foram usadas ao longo dos tempos e uma vez que o objetivo deste caso de estudo é a validação da metodologia proposta, optou-se por usar velas atualmente disponíveis. Nas experiências realizadas foram usados dois tipos de velas: vela de cera e vela de parafina. A vela de cera é composta por estearina e sebo, e a vela de parafina composta unicamente por parafina. Em qualquer um dos tipos de velas o pavio era de algodão.

A metodologia proposta na secção 4.1 foi aplicada na caracterização destes dois tipos de velas. As secções seguintes descrevem o processo experimental seguido e apresentam os resultados obtidos.

### 4.2.1 - Distribuição espectral das velas

Antes de se iniciar a experiência, teve-se o máximo de cuidado em preparar a sala com as devidas condições, para que as medições fossem realizadas de acordo com as recomendações descritas na metodologia. A experiência realizou-se no Centro de Ótica da Universidade da Beira Interior. Tendo em consideração as características do espectroradiómetro usado, de marca SpectraScan PR 650, as medições foram efetuadas em intervalos de 4nm. Antes de começar a fazer as medições foi necessário deixar a vela arder durante algum tempo para que a chama estabilizasse. Após este período de estabilização da chama realizaram-se as dez medições necessárias. Quando se deu por terminada a experiência com a vela de cera, fez-se o mesmo procedimento mas com uma vela de parafina.

Apesar de esta experiência não ter como objetivo a determinação da variação da intensidade em função da distância, foram efetuadas medições a diversas distâncias para determinar a influência desse fator nas medições, e decidir qual a distância a que seriam efetuadas as medições. A referida distância foi medida do espectroradiómetro até à placa difusa e desta até à vela. Após alguns testes verificou-se que o espectroradiómetro não permitia fazer medições quando as velas eram colocadas a uma distância superior a 1,20 m. Assim, optou-se por realizar as medições da radiância espectral a duas distâncias (0,97 m e 1,14 m), dando origem a 4 configurações:

- Configuração 1: Vela de cera a uma distância de 0,97 m (C1);
- Configuração 2: Vela de parafina a uma distância de 0,97 m (P1);
- Configuração 3: Vela de cera a uma distância de 1,14 m (C2);
- Configuração 4: Vela de parafina a uma distância de 1,14 m (P2).



Figura 38 – A luz emitida pela vela (esquerda) que é refletida na placa difusa (à frente), que é então capturada pelo espectroradiómetro (atrás)

As figuras 39 e 40 representam respetivamente, os perfis espectrais obtidos para a vela de cera e para a vela de parafina e para as duas distâncias estudadas. Nestes dois gráficos nota-se a existência de uma ligeira diferença entre as medições efetuadas para as duas distâncias. Na figura 39, os valores de radiância, adquiridos a uma maior distância (C2) são ligeiramente superiores aos obtidos a uma distância menor (C1). Na figura 40 sucede o inverso. Em ambas as velas, esperar-se-ia que os valores de radiância diminuíssem com o aumento da distância, no entanto, isso só sucedeu no caso da vela de parafina (figura 40). Contudo, observa-se que os perfis espectrais para os dois tipos de vela são bastantes similares e estão de acordo com os obtidos por outros autores (Roussos, *et al.*, 2003; Zányi, *et al.*, 2007).



Figura 39 - Perfil espectral obtido com a vela de cera



# Figura 40 – Perfil espectral obtido com a vela de parafina

A figura 41, apresenta os perfis espectrais obtidos para a vela de cera e para a vela de parafina, nas quatro configurações definidas. Na figura 41, observa-se para ambas as distâncias, que o valor da radiância espectral da vela de cera é ligeiramente superior ao obtido para a vela de parafina. Este resultado parece indiciar a existência de uma diferença de intensidades, causada provavelmente pela diferença entre as composições nos dois tipos de vela em estudo.



# Figura 41 – Perfis espectrais medidos nas 4 configurações

Para além da radiância espectral, o espectroradiómetro mede ainda a temperatura de cor. Os valores presentes nas tabelas 3, 4, 5 e 6 apresentam o valor da temperatura de cor nas dez medições efetuadas e a respetiva média. Como se pode verificar nos valores obtidos às duas distâncias com ambas as velas, o que se deveria verificar era que os valores de temperatura de cor diminuíssem com o aumento da distância, no entanto, isso só sucedeu no caso da vela de parafina.

# Tabela 3 – Medições da temperatura de cor com a vela de cera à distância 0,97 m (C1)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
Temperatura de cor (K)	1888	1904	1898	1892	1906	1877	1888	1894	1908	1884	1893

# Tabela 4 – Medições da temperatura de cor com a vela de cera à distância 1,14 m (C2)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
Temperatura de cor (K)	1956	1926	1913	1918	1895	1915	1894	1898	1892	1896	1906

# Tabela 5 – Medições da temperatura de cor com a vela de parafina à distância 0,97 m (P1)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
Temperatura de cor (K)	2010	1992	1994	1988	1994	1973	1981	1962	1971	1945	1985

Tabela 6 – Medições da temperatura de cor com a vela de parafina à distância
<b>1,14 m (P2)</b>

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
Temperatura de cor (K)	1966	1962	1962	1960	1963	1940	1947	1967	1952	1950	1961

Devido à diferença da variação da intensidade em função da distância em ambos as velas (figuras 39 e 40), optou-se por usar o valor médio entre as duas distâncias estudadas, porém, o mais importante é o facto do perfil espectral ser similar. Assim, em termos de radiância espectral obtiveram-se os perfis espectrais ilustrados nas figuras 42 e 43, para a vela de cera (C) e a vela de parafina (P), respetivamente. O valor médio obtido para a temperatura de cor foi de 1900 K para a vela de cera e de 1973 K para a vela de parafina.



Figura 42 – Perfil espectral obtido através da média das duas medições com a vela de cera





	Matriz de conversão de									
Iluminante	XYZ para RGB									
	3,2410	-1,5374	-0,4986							
D65	-0,9692	1,8760	0,0416							
	0,0556	-0,2040	1,0570							

Tabela 7 – Matriz de transformação CIE XYZ para RGB [Hoffmann, 2002]

Com base nos resultados obtidos para a radiância espectral e usando as equações 9, 10 e 11 foram determinados os valores de X, Y e Z (ver tabelas 16 a 19 – anexo B). Usando a matriz de conversão de XYZ para RGB (tabela 7), obtiveram-se os seguintes valores de RGB para os dois tipos de velas (tabela 8):

Tabela 8 – Valores RGB para ambas as velas

	R	G	В
Vela de Cera	208	48	0
Vela de Parafina	198	50	1

### 4.2.2 - Distribuição espacial da intensidade das velas

Antes de se iniciar esta experiência, teve-se o máximo cuidado em se preparar a sala com as devidas condições para que esta se efetuasse da melhor forma, e seguindo as recomendações presentes na metodologia proposta. A experiência realizou-se no Laboratório de Artes Visuais e Multimédia da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Dadas as características do fotómetro usado de marca Sekonic flash master L-358, e após alguns testes com configurações diferentes, optou-se por uma configuração de ISO 1 com o valor 100 e o T=125. Em cada medição foram registados os valores de exposição (EV) medidos pelo fotómetro, os quais foram posteriormente convertidos para valores de intensidade luminosa, (cd), usando a tabela de conversão (ver tabela 20 – anexo C). Todos os testes foram realizados com os dois tipos de vela, repetindo-se sempre o mesmo procedimento para ambas.



Figura 44 – Medição com o fotómetro da distribuição espectral da intensidade da luz emitida pela vela

Segundo a metodologia estabelecida, para se obter a distribuição espacial da intensidade da luz emitida por uma fonte de luz, o primeiro passo, é a determinação da variação da intensidade em função da distância à fonte de luz. Após alguns testes iniciais, decidiu-se efetuar medições de 0,10 m em 0,10 m, sempre numa direção perpendicular à fonte de luz, iniciando a 0,10 m da fonte de luz, e terminando quando não se obtenha uma leitura válida.

Inicialmente, quando se fizeram os primeiros testes, detetou-se que os valores dados pelo fotómetro variavam consoante a intensidade da chama, e eram um pouco inconstantes. Para se compreender como varia a intensidade da chama ao longo do tempo, decidiu-se fazer as medições desde o momento que a vela é acesa, até ser completamente consumida. Ao longo de um pouco mais de três horas, tempo que a vela de parafina demorou a arder, reparou-se que a chama ficava mais intensa, após aproximadamente duas horas. Na experiência com a vela de cera, esta demorou cerca de quatro horas a arder, tendo-se verificado que a chama era mais intensa após trinta minutos de estar acesa, como se pode observar nos resultados obtidos (figura 45). Em qualquer um dos casos, as medições foram realizadas de 30 em 30 minutos. A primeira medição só ocorreu após 30 minutos da vela estar acesa, devido à instabilidade inicial da chama e da sua intensidade, talvez se devendo ao facto do pavio ainda ser pequeno no início e ainda estar disponível pouco material para combustão.

Cada medição teve uma duração aproximada de 6 minutos, e só após o registo dos dados da medição, é que se iniciou a contagem dos próximos 30 minutos.



Figura 45 – Distância máxima de leitura conseguida com o fotómetro durante a queima das velas

Na figura 45, pode observar-se que no caso da vela de parafina a distância máxima de leitura foi aumentando ao longo do tempo, tendo estabilizado ao fim de aproximadamente 2 horas. Já no caso da vela de cera nota-se alguma instabilidade em termos da distância máxima, a qual advém da instabilidade da intensidade luminosa da mesma. Este facto pode estar relacionado com a composição da vela de cera e com o processo de combustão, o qual deve merecer um estudo mais aprofundado no futuro.

A figura 46, representa respetivamente a relação entre a intensidade e a duração da vela, para os dois tipos de velas. Como se pode verificar na figura 46, no caso da vela de cera os valores de EV foram aumentando até aproximadamente 2 horas e diminuíram até às 4 horas de duração. O mesmo não acontece com a vela de parafina, onde se observa alguma instabilidade em termos dos valores de EV, na qual resulta da instabilidade da intensidade luminosa da mesma. De novo, este facto pode estar relacionado com a composição da vela de parafina e com o processo de combustão, o qual deve merecer também um estudo mais aprofundado no futuro.



Figura 46 – Intensidade máxima de leitura conseguida com o fotómetro durante a queima das velas

A figura 47 mostra os valores de exposição medidos a diferentes distâncias, para os dois tipos de vela. Através dos resultados obtidos observou-se que os valores de EV eram mais elevados quanto mais próximo da vela (exemplo 0,10 m), estes valores de EV iam diminuindo à medida que se aumentava a distância a que se efetuavam as medições com o fotómetro. Como se observa nas curvas da figura 47, assim que aumenta a distância, os valores de EV vão diminuindo, verificando-se o mesmo resultado ao longo da duração dos tipos de velas. Após se obterem os resultados finais, optou-se por se escolher a medição aos 30 minutos. Esta não foi a única medição em que se obtiveram resultados (como se pode verificar no anexo C), apenas optou-se por escolher uma para exemplificar a relação entre a intensidade e a distância.



Figura 47 – Resultados das medições com o fotómetro após 30 minutos a vela acesa

Para se conhecer a variação da intensidade da luz emitida pela chama da vela em função da variação angular, foi também realizada uma experiência conforme se ilustra na figura 48. Considerando a simetria rotacional da fonte de distribuição de intensidade foram feitas medições fixando a distância à vela (raio), variando apenas o valor do ângulo ( $\theta$ ) formado entre o fotómetro e o eixo vertical que define a posição da vela. A medição foi apenas realizada à distância de 0,10 m. As medições foram feitas para um intervalo angular [0;180], com incrementos de 30°.

Na tabela 9, apresentam-se os valores de EV medidos à distância de 0,10 m, para uma variação angular de 0° a 180° para a vela de cera. A tabela 10, apresenta a mesma informação mas para a vela de parafina.



Figura 48 – Setup experimental para a determinação da intensidade em função da variação angular

Como se verifica na tabela 9 (vela de cera), o valor de EV é máximo quando medido no ângulo de 180°, diminui até aos 60° e volta a aumentar a partir de 30°, o que não se verifica na tabela 10 (vela de parafina), em que os valores de EV vão aumentando ao longo dos ângulos. Uma explicação possível para esta diferença pode ser a composição de cada vela. Ambas as tabelas (tabela 9 e 10), apresentam a média dos valores obtidos ao longo da duração da vela.

Tabela 9 – Medição dos valores EV a vários ângulos com a vela de cera a 0,10 m

Ângulo (°)	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
EV	3,3	3	2,9	3	3,2	3,6	4,2

Tabela 10 – Medição dos valores EV a vários ângulos com a vela de parafina a 0,10 m

Ângulo (°)	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
EV	3,3	3,7	4,1	4,5	4,7	4,9	5,3

Os valores finais de EV foram convertidos para candelas, recorrendo à tabela 20 – anexo C. Nos casos em que os valores de EV não se encontram listados na tabela de conversão, o valor convertido é obtido por interpolação linear dos valores mais próximos usando a equação 15

$$Cx = C1 + (EVx - EV1) * \frac{(C2 - C1)}{(EV2 - EV1)}$$
  
Equação 15 – Fórmula de interpolação Linear

onde, o EV1 e o C1 representam respetivamente os valores de exposição, e a correspondente conversão para candelas da linha da tabela anterior ao valor que se pretende, EV2 e C2 aos valores da linha seguinte na tabela, e o EVx o valor de exposição que se pretende converter para candelas.

# 4.3 - Simulação no 3ds Max

Para a construção do modelo virtual e a correspondente simulação das fontes de luz utilizadas nas experiências, foi usado o 3ds Max como software de modelação. A figura 49, apresenta o cenário que foi utilizado na modelação.



Figura 49 – Cenário usado na simulação

O cenário é constituído por um objeto com uma geometria semelhante à de uma vela, um plano que representa a superfície onde é colocada a vela, e um Macbeth Chart

para avaliar a mudança na cor provocada pela alteração das características da fonte de luz. Além do modelo geométrico, foi criada uma fonte de luz do tipo fotométrica. Os parâmetros referentes à distribuição da luz, cor, intensidade e atenuação foram definidos de acordo com os valores obtidos nas experiências anteriores.



### Figura 50 – Simulação em 3ds Max de uma cena iluminada por uma vela de cera

As figuras 50 e 51, mostram uma imagem da cena iluminada por uma fonte de luz, com os dados referentes a uma vela de cera e a uma vela de parafina. Nota-se alguma diferença em termos de tonalidades entre as figuras 50 e 51. Esta diferença é mais notada na cor branca, que surge, por exemplo, no Macbeth Chart e na vela. No caso da cena iluminada por uma vela de cera (figura 50) a cor branca surge com um tom mais amarelado do que na cena iluminada por uma vela de parafina (figura51). Este resultado aponta para a importância que a composição do combustível tem na distribuição espectral da luz emitida, e consequentemente na perceção que se tem da cena iluminada.



Figura 51 – Simulação em 3ds Max de uma cena iluminada por uma vela de parafina



Figura 52 – Simulação em 3ds Max de uma cena iluminada por uma lâmpada fluorescente

Para mostrar a diferença percetual entre a iluminação de uma cena com luz elétrica, e a mesma cena iluminada com o tipo de fonte de luz usado no período histórico, respeitante aos objetos presentes na cena, foi gerada uma imagem da cena iluminada por uma fonte de luz do tipo fluorescente (figura 52). É notória a diferença, em termos de perceção das cores, entre a figura 52 e as figuras 50 e 51.
## apítulo V – Conclusões e Trabalho Futuro

A realização deste trabalho teve como origem a necessidade de caracterizar convenientemente as fontes de iluminação, quer do ponto de vista físico, quer histórico, a serem usadas nas reconstruções virtuais de ambientes de carácter histórico. Essa necessidade baseia-se na importância que as suas características podem ter na perceção que se tem da mesma. Assim, nesta dissertação pretendeu-se contribuir para a melhoria do processo de caracterização das fontes de iluminação usadas ao longo da história.

Para perceber os conceitos envolvidos no processo de perceção da cor, foi feito um estudo sobre os conceitos de luz e cor, visando principalmente, perceber a relação entre os conceitos de radiância espectral e o modelo RGB. Foi também realizado um estudo sobre a evolução das tecnologias de iluminação, identificando assim, as diferenças entre os vários tipos de luminárias, quer em termos de combustível usado, quer do material, e forma do suporte usado. A análise dos diversos estudos sobre a caracterização de fontes de luz, descritos na bibliografia, permitiu identificar as metodologias usadas, as quais serviram de base à metodologia proposta.

Nos diversos estudos analisados, a metodologia utilizada assenta na caracterização da distribuição espectral da luz emitida. A metodologia que se propôs nesta dissertação, segue de certa forma essa abordagem, através da inclusão de uma caracterização espectral, mas propõe uma extensão no sentido de incluir também uma caracterização espacial da luz emitida.

#### Conclusões e Trabalho Futuro

A metodologia proposta foi aplicada na caracterização de velas como fontes de luz, nomeadamente, uma vela de cera e uma vela de parafina. Os dados obtidos, foram usados para definir uma fonte de luz que serviu para iluminar um modelo virtual, construído e recorrendo a um software de modelação. Esta simulação permitiu perceber a diferença percetual em termos de visualização das cores entre os dois tipos de velas.

Os resultados obtidos apontam para uma relação entre a composição das velas e a distribuição espectral da luz emitida. Foi notória a diferença em termos percetuais, das cores presentes, principalmente da cor branca, numa cena iluminada por uma vela de cera ou por uma vela de parafina. Estes resultados estão de acordo com a observação que levou à realização deste estudo, e reforçam a importância dos mesmos para uma correta interpretação, em termos percetuais e históricos, das cores usadas para colorir os objetos.

Como trabalho futuro, espera-se dar continuidade a esta experiência através da análise da influência, da característica espacial da distribuição da luz emitida na perceção das cenas. Por outro lado, pretende-se estender este estudo a outros tipos de luminárias, que permitirão a quem pretende efetuar uma reconstrução virtual histórica, usar esses dados na definição das fontes de luz que vai usar.

### Referências

Autodesk (2012). "3ds Max Help". Obtido a partir de: <u>http://download.autodesk.com/us/3dsmax/2012help/index.html?url=files/GUID-</u> <u>B7D0424E-6DCB-44D9-AD0B-85B9A1EE3F5-0.htm,topicNumber=d28e3788</u>.

Azevedo, A., & Conci, A. (2003). Computação Gráfica - Teoria e Prática. (pp. 189, 194): Editora Campus, Ltda.

Barcellos, R. (2011). Novo Método de Mapeamento de Espaços de Cor através de Redes Neurais Artificiais Especializadas. *Departamento de Engenharia Elétrica (EESC)* (p. 26). São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Bolani, N. (2001). A História da Iluminação Artificial. Abilux.

Bouatouch, K., & Bouville, C. (1992). Photorealism in Computer Graphics. Springer.

Cardoso, R. (1979). Luminotecnia Fundamental. (pp. 31, 67): Dinalivro.

Cardoso, V. (2009). Fotometria para Biologistas. *Oecologia Brasiliensis*, *Vol. 13*(4), pp. 547-548.

Cavalcanti, P. R. (2000). Introdução à Computação Gráfica. (p. 22): Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Chalmers, A. (2002). Very Realistic Graphics for Visualising Archaeological Site Reconstructions In: *Proceedings of the 18th spring conference on Computer graphics* (pp. 7-12). Budmerice, Slovakia: ACM.

Cunha, L. F. (2001). Tratamento de Imagens e Gerenciamento de Cores. (p. 12): SENAI - São Paulo.

Daronco, L. C. (2007). Interface 3D para Representação da Distribuição de Cores de Imagens Digitais em Diferentes Espaçõs de Cores. (pp. 16-27). Santa Maria, RS, Brasil: Universidade Federal de Santa Maria.

Devlin, K., & Chalmers, A. (2001). Realistic Visualisation of the Pompeii Frescoes In: *Proceedings of the 1st international conference on Computer graphics, virtual reality and visualisation* (pp. 43-48). Camps Bay, Cape Town, South Africa: ACM.

Devlin, K., Chalmers, A., & Brown, D. (2002). Predictive Lighting and Perception in Archaeological Representations. UNESCO "World Heritage in the Digital Age" 30th Anniversary Digital Congress.

Dutré, P., Heckbert, P., Ma, V., Pellacini, F., Porschka, R., Ramasubramanian, M., Soler, C., & Ward, G. (2003). Global Illumination Compendium. *Department of Computer Science, Katholieke Universiteit Leuven* (pp. 25-26).

Forbes, R. J. (1966). Studies in Ancient Technology, Volume 6 Heat and Heating: Refrigeration, the Art of Cooling and Producing Cold: Light. (p. 125 e 134): Brill Academic Pub.

Gonçalves, A. (2010). Perceptually Valid Images of Conimbriga Using High Dynamic Range. *Departamento de Engenharias* (pp. 57-59). Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Gonçalves, A., Magalhães, L., Moura, J., & Chalmers, A. (2009). High Dynamic Range - A Gateway for Predictive Ancient Lighting. *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)*, *Vol.* 2(1), pp. 1-20.

Gonçalves, A., Magalhães, L. G., Moura, J. P., & Chalmers, A. (2007a). Metodologia para a Geração de Imagens High Dynamic Range em Iluminação Romana. In:

#### Referências

*Proceedings of International Association for the Scientific Knowledge InterTIC'07* (pp. 285-294). Porto.

Gonçalves, A., Magalhães, L. G., Moura, J. P., & Chalmers, A. (2007b). Visualização de Espaços Arqueológicos usando High Dynamic Range. In: *V Congresso CAAPortugal de Aplicações Informáticas à Arqueologia*. Leiria.

Harrell, T. W. M. (1995). Manual de Fotografia. *Departamento de Artes Plásticas* (p. 49): Universidade Federal de Uberlândia.

Hoffmann, G. (2002). CIE Color Space. p. 14.

Holdschip, R. (2008). A Influência dos Sistemas de Gerenciamento de Cores em Provas Digitais. (p. 17 e 49). Bauru: Faculdade de Arquitectura, Artes e Comunicação da Universidade Estadual Paulista.

Kiguchi, Y. (2006). SEKONIC Flash Master L-358 Operating Manual. (p. 27). Japan: Sekonic Corporation

Leão, A. C. (2005). Gerenciamento de Cores para Imagens Digitais. (pp. 24-34). Belo Horizonte - Minas Gerais - Brasil: Escola de Belas Artes da Universidade Federal de Minas Gerais.

Leite, F. N. (2006). Calibração de Dispositivos a Cores utilizando uma Câmera Digital. *Departamento de Engenharia Elétrica* (pp. 7-20). Brasília: Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília

Lima, C. A. F. (2009). LUMINOTÉCNICA: Matemática e Iluminação, Fatores de Excelência na Aprendizagem. *Departamento de Matemática e Física* (pp. 18-27). Imperatriz: Universidade Estadual do Maranhão/Centro de Estudos Superiores de Imperatriz.

Louchez, F. B., Leblond, M., Rousselle, F., & Renaud, C. (2006). Enhanced Illumination of Reconstructed Dynamic Environments using a Real-Time Flame Model

In: Proceedings of the 4th international conference on Computer graphics, virtual reality, visualisation and interaction in Africa (pp. 31-40). Cape Town, South Africa: ACM.

Mania, A. (2001). Fidelity Metrics for Virtual Environment Simulations based on Human Judgements of Spatial Memory Awareness States. *Departamento de Ciência da Computação* (p. 21). Reino Unido: Universidade de Bristol - Faculdade de Engenharia.

Oliveira, D. F. (2006). Confiabilidade Metrológica e Validação de Procedimentos Espectroradiométricos para Medição de Fontes Luminosas. (pp. 36-41). Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Papadopoulos, C., & Earl, G. (2009). Structural and Lighting Models for the Minoan Cemetery at Phourni, Crete. VAST 2009: The 10th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage (pp. 57-64): Eurographics Association.

Roussos, I., & Chalmers, A. (2003). High Fidelity Lighting of Knossos. VAST 2003: The 4th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage (pp. 195-202): Eurographics Association.

Serrat, B. S. B. V. M. (2006). Iluminação Cénica como Elemento Modificador dos Espetáculos: seus Efeitos sobre os Objetos de Cena. (p. 5). Rio de Janeiro: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Silva, P. R. (2006). Técnicas de Sensoriamento Remoto e Radiometria Aplicadas a Vinhedos em Duas Regiões do Rio Grande do Sul, Brasil. (p. 24). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Sundstedt, V., Chalmers, A., & Martinez, P. (2004). High Fidelity Reconstruction of the Ancient Egyptian Temple of Kalabsha In: *Proceedings of the 3rd international conference on Computer graphics, virtual reality, visualisation and interaction in Africa* (pp. 107-113). Stellenbosch, South Africa: ACM.

Zányi, E., Chrysanthou, Y., Bashford-Rogers, T., & Chalmers, A. (2007). High dynamic Range Display of Authentically Illuminated Byzantine Art from Cyprus. *VAST 2007: The 8th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage* (pp. 87-92): Eurographics Association.



λ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média C1
380	3,3680E-07	1,7070E-06	2,9450E-06	3,3680E-07	3,3680E-07	2,1230E-06	3,3680E-07	3,3680E-07	3,3680E-07	3,3680E-07	3,3680E-07
384	2,8380E-07	2,3900E-06	1,9050E-06	1,3390E-06	2,4630E-07	7,5670E-07	2,4630E-07	2,4630E-07	2,4630E-07	2,4630E-07	2,6505E-07
388	9,0580E-07	1,6650E-06	1,9290E-07	3,3920E-07	2,5140E-07	1,9290E-07	1,9290E-07	4,8550E-07	1,9290E-07	1,9290E-07	2,2215E-07
392	6,4290E-07	1,5820E-07	1,5820E-07	8,6480E-07	3,9030E-07	1,5820E-07	1,5820E-07	1,3190E-06	1,5820E-07	1,5820E-07	1,5820E-07
396	6,4100E-07	1,3600E-07	1,3600E-07	6,9960E-07	1,3600E-07	1,3600E-07	1,3600E-07	1,3600E-07	1,8790E-07	1,3600E-07	1,3600E-07
400	2,9560E-07	1,1860E-07	1,1860E-07	5,3550E-07	3,5460E-07	1,1860E-07	1,1860E-07	2,9560E-07	7,6810E-07	1,7760E-07	2,3660E-07
404	2,2540E-07	2,9670E-07	2,3260E-07	1,4470E-07	6,5030E-07	4,8900E-07	1,6850E-07	2,2540E-07	8,9220E-07	1,4470E-07	2,2900E-07
408	9,3800E-08	4,4380E-07	3,5000E-07	9,3800E-08	7,2520E-07	7,2520E-07	6,6780E-07	9,3800E-08	1,3430E-06	9,3800E-08	3,9690E-07
412	8,7080E-08	5,8340E-07	2,7440E-07	8,7080E-08	7,7060E-07	6,9670E-07	2,6590E-07	8,7080E-08	1,3320E-06	3,0900E-07	2,9170E-07
416	8,2270E-08	7,4240E-07	8,7460E-08	9,6740E-08	1,0160E-06	1,0050E-07	8,4860E-08	8,2270E-08	1,1860E-07	7,0570E-07	9,8620E-08
420	3,2180E-07	6,3290E-07	9,4180E-08	2,0130E-07	4,8040E-07	1,4300E-07	7,7920E-08	1,5920E-07	7,7920E-08	4,6750E-07	1,8025E-07
424	1,1840E-06	7,3980E-08	1,2350E-07	2,4490E-07	1,7310E-07	3,2110E-07	4,1590E-07	4,1950E-07	2,4490E-07	6,1480E-07	2,8300E-07

#### Tabela 11 – Cálculo da energia espectral de uma vela de cera a uma distância de 0,97 m

428	1,0830E-06	6,9650E-08	1,6420E-07	4,6270E-07	6,9650E-08	4,2950E-07	8,2420E-07	4,1120E-07	4,3120E-07	9,9990E-07	4,3035E-07
432	9,6180E-07	6,4220E-07	1,9000E-07	7,5540E-07	5,2710E-07	5,5170E-07	4,1830E-07	5,0510E-07	3,0510E-07	9,5180E-07	5,3940E-07
436	6,3810E-07	1,0870E-06	8,4650E-08	9,0470E-07	1,6650E-06	6,8310E-07	9,1690E-07	2,9310E-07	6,8940E-07	5,7300E-07	6,8625E-07
440	7,2320E-07	9,8300E-07	8,0250E-07	4,6310E-07	1,9850E-06	7,6830E-07	6,7780E-07	1,3930E-07	8,3230E-07	5,0090E-07	7,4575E-07
444	9,6600E-07	1,2970E-06	1,6730E-06	7,6980E-07	1,8650E-06	1,2950E-06	5,2900E-07	8,2560E-07	5,0430E-07	6,1760E-07	8,9580E-07
448	1,3050E-06	1,4630E-06	1,3060E-06	1,2950E-06	1,7260E-06	8,1550E-07	8,2690E-07	1,4990E-06	4,5660E-07	1,3190E-06	1,3055E-06
452	8,7020E-07	1,7620E-06	1,3730E-06	1,3360E-06	1,4920E-06	1,0060E-06	7,5510E-07	1,6460E-06	7,3650E-07	1,4700E-06	1,3545E-06
456	1,3370E-06	1,8090E-06	1,6700E-06	1,3720E-06	1,3200E-06	1,3940E-06	9,1890E-07	1,3220E-06	1,0090E-06	1,3980E-06	1,3545E-06
460	1,7510E-06	1,5470E-06	1,7410E-06	1,7930E-06	1,4190E-06	1,7080E-06	1,6420E-06	1,1270E-06	1,5400E-06	1,2550E-06	1,5945E-06
464	2,0300E-06	1,7300E-06	1,6560E-06	1,9020E-06	1,5070E-06	1,8000E-06	1,3990E-06	1,4040E-06	1,6330E-06	1,5380E-06	1,6445E-06
468	2,4130E-06	2,6600E-06	1,9190E-06	2,2870E-06	1,4910E-06	1,7190E-06	1,8530E-06	1,7620E-06	2,2070E-06	1,1640E-06	1,8860E-06
472	2,6250E-06	2,8290E-06	2,3240E-06	2,3910E-06	2,0040E-06	2,4600E-06	2,2760E-06	2,2670E-06	1,7410E-06	1,8890E-06	2,3000E-06
476	2,8160E-06	2,7780E-06	3,1320E-06	2,5060E-06	2,6350E-06	2,5570E-06	2,0740E-06	2,2040E-06	1,9560E-06	2,1650E-06	2,5315E-06
480	3,4630E-06	2,9450E-06	2,7560E-06	2,5120E-06	2,7680E-06	2,8270E-06	2,1450E-06	2,5540E-06	2,3920E-06	2,4620E-06	2,6550E-06
484	3,6360E-06	3,4240E-06	3,1130E-06	3,1870E-06	3,0630E-06	3,1090E-06	2,3820E-06	2,6150E-06	2,8180E-06	2,8400E-06	3,0860E-06
488	4,0790E-06	4,0000E-06	3,3100E-06	3,4890E-06	3,4870E-06	3,5670E-06	2,5020E-06	2,7210E-06	3,2910E-06	3,0480E-06	3,3985E-06
492	3,9150E-06	3,9900E-06	3,5650E-06	3,5780E-06	3,6650E-06	3,6960E-06	3,1300E-06	2,8020E-06	2,9550E-06	3,1940E-06	3,5715E-06
496	4,6130E-06	4,0350E-06	4,0270E-06	3,8060E-06	3,8400E-06	3,5220E-06	3,8660E-06	3,2040E-06	2,7300E-06	3,4640E-06	3,8230E-06
500	4,7590E-06	4,6180E-06	4,6500E-06	4,1020E-06	4,4100E-06	3,4580E-06	3,8920E-06	3,4920E-06	3,8490E-06	3,1300E-06	3,9970E-06
504	5,6640E-06	4,8220E-06	4,1850E-06	4,2790E-06	4,3120E-06	3,7460E-06	3,5770E-06	3,7910E-06	4,0570E-06	3,6670E-06	4,1210E-06
508	6,1900E-06	5,2330E-06	4,4090E-06	4,5030E-06	4,8770E-06	4,9710E-06	4,3990E-06	3,8100E-06	4,5470E-06	4,5730E-06	4,5600E-06
512	6,2670E-06	5,6340E-06	4,8990E-06	4,9090E-06	5,3890E-06	5,3390E-06	4,9240E-06	4,6830E-06	4,7110E-06	5,0030E-06	4,9635E-06
516	6,9010E-06	5,8750E-06	5,4210E-06	5,7240E-06	6,1670E-06	5,6220E-06	5,2250E-06	5,2560E-06	4,9820E-06	5,0970E-06	5,5215E-06
520	7,4140E-06	6,9490E-06	6,3340E-06	5,9020E-06	6,4910E-06	5,9090E-06	5,4940E-06	5,7310E-06	5,5080E-06	5,2060E-06	5,9055E-06

524	7,7120E-06	7,4130E-06	6,3620E-06	6,5690E-06	7,0860E-06	6,2900E-06	5,9110E-06	5,8050E-06	5,6260E-06	5,7900E-06	6,3260E-06
528	8,5590E-06	8,0620E-06	6,8550E-06	7,3410E-06	7,2460E-06	6,8760E-06	6,6080E-06	6,2080E-06	5,6420E-06	5,6810E-06	6,8655E-06
532	9,4360E-06	8,7710E-06	7,5390E-06	7,5850E-06	7,4680E-06	7,0880E-06	7,0170E-06	6,9940E-06	6,1640E-06	6,3770E-06	7,2780E-06
536	1,0280E-05	9,2700E-06	8,0210E-06	8,2410E-06	8,1280E-06	7,6810E-06	7,5630E-06	7,7360E-06	7,3550E-06	7,0350E-06	7,8785E-06
540	1,0870E-05	9,9840E-06	8,6740E-06	9,2020E-06	9,3510E-06	8,4100E-06	8,1640E-06	8,0140E-06	8,0800E-06	7,8910E-06	8,5420E-06
544	1,2020E-05	1,0400E-05	1,0180E-05	9,9190E-06	1,0230E-05	9,2840E-06	9,3960E-06	8,9120E-06	8,5420E-06	9,0600E-06	9,6575E-06
548	1,2500E-05	1,1300E-05	1,0450E-05	1,0310E-05	1,0990E-05	9,5280E-06	9,2920E-06	9,4490E-06	9,1560E-06	9,3930E-06	9,9190E-06
552	1,2640E-05	1,1760E-05	1,0400E-05	1,0490E-05	1,1240E-05	9,9190E-06	9,8470E-06	9,3310E-06	9,0750E-06	9,6800E-06	1,0160E-05
556	1,3380E-05	1,2270E-05	1,0850E-05	1,1140E-05	1,1930E-05	1,0420E-05	1,0020E-05	9,8940E-06	9,7850E-06	1,0570E-05	1,0710E-05
560	1,4650E-05	1,3360E-05	1,2100E-05	1,1820E-05	1,2570E-05	1,1330E-05	1,1070E-05	1,0800E-05	1,0470E-05	1,0680E-05	1,1575E-05
564	1,5720E-05	1,4160E-05	1,2860E-05	1,2620E-05	1,3520E-05	1,2440E-05	1,2150E-05	1,1530E-05	1,1020E-05	1,1240E-05	1,2530E-05
568	1,6950E-05	1,4810E-05	1,3420E-05	1,3930E-05	1,4690E-05	1,3210E-05	1,2830E-05	1,1860E-05	1,1800E-05	1,1930E-05	1,3315E-05
572	1,7840E-05	1,5750E-05	1,4420E-05	1,4510E-05	1,5420E-05	1,3710E-05	1,3430E-05	1,2700E-05	1,1930E-05	1,2700E-05	1,4065E-05
576	1,8190E-05	1,6740E-05	1,5530E-05	1,5230E-05	1,6090E-05	1,4640E-05	1,4220E-05	1,3550E-05	1,2800E-05	1,3390E-05	1,4935E-05
580	1,9640E-05	1,8040E-05	1,6430E-05	1,6100E-05	1,6760E-05	1,5650E-05	1,5130E-05	1,4230E-05	1,3880E-05	1,4330E-05	1,5875E-05
584	2,1520E-05	1,9120E-05	1,7440E-05	1,7480E-05	1,7370E-05	1,6880E-05	1,5680E-05	1,5390E-05	1,4720E-05	1,5450E-05	1,7125E-05
588	2,2520E-05	1,9870E-05	1,8270E-05	1,8690E-05	1,9030E-05	1,7750E-05	1,7170E-05	1,5980E-05	1,5230E-05	1,6440E-05	1,8010E-05
592	2,3400E-05	2,0540E-05	1,9250E-05	1,9620E-05	2,0020E-05	1,8820E-05	1,7590E-05	1,7380E-05	1,6510E-05	1,7410E-05	1,9035E-05
596	2,4700E-05	2,1800E-05	1,9980E-05	2,0110E-05	2,0690E-05	1,9980E-05	1,8750E-05	1,7840E-05	1,7580E-05	1,8060E-05	1,9980E-05
600	2,5740E-05	2,3240E-05	2,0880E-05	2,1110E-05	2,1780E-05	2,0920E-05	1,9720E-05	1,8700E-05	1,8400E-05	1,8660E-05	2,0900E-05
604	2,7020E-05	2,4330E-05	2,2130E-05	2,2590E-05	2,2790E-05	2,1430E-05	2,0590E-05	1,9870E-05	1,8850E-05	1,9780E-05	2,1780E-05
608	2,8440E-05	2,5280E-05	2,3460E-05	2,3620E-05	2,4060E-05	2,2760E-05	2,1620E-05	2,1020E-05	1,9910E-05	2,0740E-05	2,3110E-05
612	3,0510E-05	2,7030E-05	2,4790E-05	2,4870E-05	2,5570E-05	2,4070E-05	2,2840E-05	2,1840E-05	2,0890E-05	2,2320E-05	2,4430E-05
616	3,1610E-05	2,8670E-05	2,5500E-05	2,5920E-05	2,6730E-05	2,4880E-05	2,3590E-05	2,2820E-05	2,2190E-05	2,3730E-05	2,5190E-05

620	3,3190E-05	2,9880E-05	2,6470E-05	2,6850E-05	2,8040E-05	2,6360E-05	2,4960E-05	2,4170E-05	2,3150E-05	2,4780E-05	2,6415E-05
624	3,4460E-05	3,1240E-05	2,8230E-05	2,8090E-05	2,8990E-05	2,7390E-05	2,5890E-05	2,5410E-05	2,4160E-05	2,5140E-05	2,7740E-05
628	3,5990E-05	3,2000E-05	2,9610E-05	2,9450E-05	3,0600E-05	2,8620E-05	2,7670E-05	2,6000E-05	2,5390E-05	2,5970E-05	2,9035E-05
632	3,7980E-05	3,3820E-05	3,0770E-05	3,1190E-05	3,2060E-05	3,0360E-05	2,8480E-05	2,7240E-05	2,6610E-05	2,7840E-05	3,0565E-05
636	3,9440E-05	3,5340E-05	3,1990E-05	3,2130E-05	3,3140E-05	3,1340E-05	2,9460E-05	2,8670E-05	2,7270E-05	2,9040E-05	3,1665E-05
640	4,1210E-05	3,7460E-05	3,3260E-05	3,3480E-05	3,4610E-05	3,2680E-05	3,1270E-05	3,0290E-05	2,8480E-05	3,0120E-05	3,2970E-05
644	4,3120E-05	3,8930E-05	3,4640E-05	3,4770E-05	3,6510E-05	3,4210E-05	3,2530E-05	3,1200E-05	2,9980E-05	3,0930E-05	3,4425E-05
648	4,5220E-05	4,0530E-05	3,5310E-05	3,7140E-05	3,8280E-05	3,5290E-05	3,4290E-05	3,2860E-05	3,1050E-05	3,2440E-05	3,5300E-05
652	4,6730E-05	4,1840E-05	3,7430E-05	3,8630E-05	4,0220E-05	3,6510E-05	3,5220E-05	3,4520E-05	3,2370E-05	3,3900E-05	3,6970E-05
656	4,8390E-05	4,3420E-05	3,8820E-05	3,9770E-05	4,0870E-05	3,8580E-05	3,6930E-05	3,6230E-05	3,3490E-05	3,5270E-05	3,8700E-05
660	5,0050E-05	4,5430E-05	4,0970E-05	4,1000E-05	4,2010E-05	4,0110E-05	3,7720E-05	3,7200E-05	3,4600E-05	3,6830E-05	4,0540E-05
664	5,1840E-05	4,6540E-05	4,2580E-05	4,3360E-05	4,4100E-05	4,0860E-05	3,9170E-05	3,9010E-05	3,6490E-05	3,9110E-05	4,1720E-05
668	5,5140E-05	4,8830E-05	4,4490E-05	4,4820E-05	4,6020E-05	4,2830E-05	4,1530E-05	3,9680E-05	3,7880E-05	4,0560E-05	4,3660E-05
672	5,6970E-05	5,0340E-05	4,5470E-05	4,6230E-05	4,7300E-05	4,5380E-05	4,3320E-05	4,1870E-05	3,9350E-05	4,1630E-05	4,5425E-05
676	5,8610E-05	5,2050E-05	4,7520E-05	4,8360E-05	4,9200E-05	4,7510E-05	4,4310E-05	4,3460E-05	4,1150E-05	4,3270E-05	4,7515E-05
680	6,1130E-05	5,4240E-05	4,8960E-05	4,9760E-05	5,0960E-05	4,8940E-05	4,5570E-05	4,5260E-05	4,2780E-05	4,4540E-05	4,8950E-05
684	6,3270E-05	5,5980E-05	5,0060E-05	5,1170E-05	5,3370E-05	5,0600E-05	4,7310E-05	4,6830E-05	4,4080E-05	4,5660E-05	5,0330E-05
688	6,5100E-05	5,8360E-05	5,1870E-05	5,2850E-05	5,5080E-05	5,2080E-05	4,8980E-05	4,8230E-05	4,5630E-05	4,7580E-05	5,1975E-05
692	6,7690E-05	6,0500E-05	5,3160E-05	5,4820E-05	5,6180E-05	5,3690E-05	5,1100E-05	4,9000E-05	4,7220E-05	4,9550E-05	5,3425E-05
696	7,0620E-05	6,2110E-05	5,5080E-05	5,6420E-05	5,8930E-05	5,5070E-05	5,2670E-05	5,1170E-05	4,9450E-05	5,1910E-05	5,5075E-05
700	7,1910E-05	6,4850E-05	5,8720E-05	5,9290E-05	6,1280E-05	5,8010E-05	5,5410E-05	5,3620E-05	5,0410E-05	5,4830E-05	5,8365E-05
704	7,4050E-05	6,6690E-05	6,0460E-05	6,0800E-05	6,3200E-05	5,9770E-05	5,6310E-05	5,5860E-05	5,2550E-05	5,5250E-05	6,0115E-05
708	7,7380E-05	6,9490E-05	6,2460E-05	6,2850E-05	6,6140E-05	6,1660E-05	5,8710E-05	5,7310E-05	5,4190E-05	5,6390E-05	6,2060E-05
712	8,0360E-05	7,0770E-05	6,3670E-05	6,4780E-05	6,7430E-05	6,4100E-05	5,9300E-05	5,7860E-05	5,6220E-05	5,7750E-05	6,3885E-05

716	8,2610E-05	7,2570E-05	6,5900E-05	6,7140E-05	6,9310E-05	6,4910E-05	6,2060E-05	5,9960E-05	5,6670E-05	6,1200E-05	6,5405E-05
720	8,5440E-05	7,5520E-05	6,7860E-05	6,8930E-05	7,1740E-05	6,7630E-05	6,4890E-05	6,3180E-05	5,8150E-05	6,2050E-05	6,7745E-05
724	8,7490E-05	7,7310E-05	7,0400E-05	7,0630E-05	7,4600E-05	6,8900E-05	6,6540E-05	6,4550E-05	6,1990E-05	6,4580E-05	6,9650E-05
728	9,1220E-05	8,0560E-05	7,1890E-05	7,3110E-05	7,7210E-05	7,0230E-05	6,7950E-05	6,5950E-05	6,3840E-05	6,8750E-05	7,1060E-05
732	9,2830E-05	8,3470E-05	7,5660E-05	7,7020E-05	7,7840E-05	7,4470E-05	6,8580E-05	6,8480E-05	6,5990E-05	6,8350E-05	7,5065E-05
736	9,5020E-05	8,4800E-05	7,7190E-05	7,8300E-05	8,0380E-05	7,6690E-05	7,1300E-05	6,9820E-05	6,7370E-05	7,0500E-05	7,6940E-05
740	9,9230E-05	8,9700E-05	7,8250E-05	8,1300E-05	8,2210E-05	7,8570E-05	7,2670E-05	7,2530E-05	6,8230E-05	7,1680E-05	7,8410E-05
744	1,0160E-04	9,2910E-05	7,8280E-05	8,0620E-05	8,6090E-05	8,0390E-05	7,6300E-05	7,5310E-05	6,7760E-05	7,6280E-05	7,9335E-05
748	1,0310E-04	9,4340E-05	8,1480E-05	8,3610E-05	8,8590E-05	7,9940E-05	7,8800E-05	7,9500E-05	7,0360E-05	7,9690E-05	8,0710E-05
752	1,0670E-04	9,5350E-05	8,5540E-05	8,3330E-05	8,8840E-05	8,3320E-05	8,0580E-05	8,1000E-05	7,3930E-05	8,0710E-05	8,3325E-05
756	1,0950E-04	9,8180E-05	8,7140E-05	8,8330E-05	8,9460E-05	8,7410E-05	8,0460E-05	7,9820E-05	8,0910E-05	7,9460E-05	8,7275E-05
760	1,1060E-04	1,0180E-04	8,8650E-05	9,3050E-05	9,5310E-05	9,0300E-05	8,2770E-05	8,0510E-05	7,9110E-05	8,0700E-05	8,9475E-05
764	1,1280E-04	1,0270E-04	9,2240E-05	9,5300E-05	9,7520E-05	9,1660E-05	8,7380E-05	8,2370E-05	8,0370E-05	8,4400E-05	9,1950E-05
768	1,1790E-04	1,0540E-04	9,5750E-05	9,4340E-05	9,9230E-05	9,4490E-05	8,8800E-05	8,5400E-05	8,1650E-05	8,6310E-05	9,4415E-05
772	1,2170E-04	1,0540E-04	9,9090E-05	9,6960E-05	1,0200E-04	9,6090E-05	8,8830E-05	9,0560E-05	8,6410E-05	8,6600E-05	9,6525E-05
776	1,2280E-04	1,0760E-04	9,6730E-05	9,8640E-05	1,0620E-04	9,9990E-05	9,3830E-05	9,1350E-05	8,8660E-05	9,2290E-05	9,7685E-05
780	1,2790E-04	1,1180E-04	9,9410E-05	1,0100E-04	1,0670E-04	1,0170E-04	9,3990E-05	8,9420E-05	9,1730E-05	9,3040E-05	1,0021E-04

λ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média C2
380	3,3680E-07	8,8490E-07	3,3680E-07	3,3680E-07	3,3680E-07	3,3680E-07	6,5040E-07	1,1590E-06	3,3680E-07	9,0120E-07	3,3680E-07
384	2,4630E-07	2,8290E-07	2,4630E-07	2,4630E-07	2,4630E-07	2,4630E-07	2,4630E-07	3,0120E-07	1,1210E-06	2,4630E-07	2,4630E-07
388	1,9290E-07	1,9290E-07	3,6850E-07	2,5140E-07	1,9290E-07	1,9290E-07	2,8070E-07	1,9290E-07	1,9290E-07	2,5140E-07	1,9290E-07
392	5,7910E-07	2,0030E-07	1,0650E-06	3,9030E-07	4,9490E-07	1,5820E-07	1,0120E-06	1,5820E-07	1,5820E-07	3,9030E-07	3,9030E-07
396	1,6520E-06	4,7950E-07	6,0870E-07	6,0280E-07	1,2240E-06	1,3600E-07	1,1460E-06	2,9160E-07	5,5090E-07	1,3600E-07	5,7685E-07
400	8,9410E-07	4,1690E-07	1,7830E-07	6,5550E-07	1,0680E-06	1,1860E-07	1,1860E-07	8,2840E-07	7,7280E-07	1,1860E-07	5,3620E-07
404	1,0440E-07	1,0440E-07	1,0440E-07	1,0440E-07	4,2700E-07	1,0440E-07	2,3260E-07	1,3650E-06	4,8180E-07	1,0440E-07	1,0440E-07
408	9,3800E-08	4,3680E-07	4,3680E-07	9,3800E-08	2,9960E-07	5,7400E-07	2,8140E-07	5,8390E-07	1,9460E-07	2,3100E-07	2,9050E-07
412	8,7080E-08	2,2660E-07	5,9650E-07	8,7080E-08	1,2640E-07	7,7060E-07	4,0920E-07	1,1490E-06	8,7080E-08	4,0920E-07	3,1790E-07
416	1,6190E-07	9,9340E-08	6,9900E-07	1,3290E-07	1,1120E-07	6,3890E-07	2,8820E-07	1,1860E-07	1,4740E-07	1,6510E-07	1,5465E-07
420	9,8390E-07	2,9880E-07	3,4420E-07	5,9090E-07	5,1970E-07	1,0550E-06	5,0960E-07	7,7920E-08	8,7680E-07	3,2180E-07	5,1465E-07
424	1,2560E-06	4,6900E-07	4,4390E-07	3,9500E-07	9,6170E-07	7,3840E-07	7,3980E-08	7,3980E-08	1,1840E-06	9,1500E-07	6,0370E-07
428	1,2740E-06	6,0030E-07	6,6990E-07	1,8410E-07	7,1640E-07	6,6000E-07	2,9020E-07	2,5870E-07	1,3980E-06	3,1670E-07	6,3015E-07
432	8,0830E-07	8,6680E-07	7,4170E-07	7,5730E-07	5,0510E-07	1,9000E-07	1,1090E-06	1,0040E-06	8,6130E-07	4,5860E-07	7,8280E-07
436	9,6930E-07	8,4600E-07	7,6770E-07	1,4180E-06	9,3010E-07	7,2170E-07	1,2690E-06	1,2300E-06	5,7880E-07	9,4970E-07	9,3990E-07
440	2,9730E-07	7,7960E-07	1,2540E-06	1,3670E-06	8,7750E-07	1,1190E-06	1,1000E-06	7,3050E-07	9,6800E-07	7,7200E-07	9,2275E-07
444	1,4020E-06	5,6960E-07	5,3130E-07	1,1480E-06	6,1480E-07	1,2480E-06	8,0460E-07	8,6020E-07	1,7350E-06	9,9680E-07	9,2850E-07
448	1,8460E-06	5,2730E-07	1,0670E-06	1,4760E-06	1,2120E-06	1,1850E-06	1,2710E-06	1,5220E-06	1,4030E-06	6,3700E-07	1,2415E-06
452	1,6850E-06	7,7150E-07	1,1980E-06	1,7640E-06	1,7230E-06	9,0740E-07	1,3930E-06	1,2980E-06	1,3560E-06	1,5270E-06	1,3745E-06
456	1,4520E-06	1,8550E-06	1,6130E-06	7,4810E-07	1,5230E-06	1,7030E-06	1,6390E-06	1,6060E-06	1,2900E-06	2,2270E-06	1,6095E-06
460	1,6360E-06	2,3020E-06	1,5540E-06	8,8050E-07	1,1300E-06	1,6820E-06	1,8390E-06	2,0990E-06	1,8790E-06	2,1480E-06	1,7605E-06

Tabela 12 – Cálculo da energia espectral de uma vela de cera a uma distância de 1,14 m

464	1,9110E-06	1,6210E-06	1,4180E-06	2,0490E-06	1,2140E-06	2,0010E-06	2,3810E-06	1,8690E-06	2,6020E-06	1,9570E-06	1,9340E-06
468	2,0620E-06	1,9790E-06	1,7930E-06	2,3530E-06	2,0090E-06	2,4300E-06	2,5720E-06	2,3170E-06	2,9320E-06	1,5950E-06	2,1895E-06
472	2,1600E-06	2,3150E-06	2,5530E-06	2,4850E-06	2,1790E-06	2,6590E-06	1,7670E-06	3,2770E-06	2,3890E-06	2,4190E-06	2,4040E-06
476	2,6870E-06	2,5040E-06	2,1920E-06	2,0600E-06	2,9480E-06	2,5570E-06	2,5170E-06	3,0270E-06	2,6090E-06	3,0650E-06	2,5830E-06
480	2,8000E-06	2,8700E-06	2,6230E-06	2,8390E-06	3,4580E-06	2,8070E-06	2,8430E-06	3,2890E-06	3,1670E-06	3,2050E-06	2,8565E-06
484	3,1670E-06	3,3190E-06	3,2460E-06	3,3710E-06	3,5790E-06	3,3710E-06	3,0640E-06	3,9150E-06	3,9980E-06	3,3170E-06	3,3450E-06
488	3,8140E-06	3,6890E-06	3,9150E-06	3,6260E-06	3,4430E-06	4,0140E-06	3,3750E-06	3,7780E-06	3,7830E-06	3,8330E-06	3,7805E-06
492	4,0190E-06	3,6080E-06	4,1450E-06	3,6550E-06	3,8960E-06	4,2430E-06	3,7800E-06	4,2080E-06	3,9060E-06	4,2800E-06	3,9625E-06
496	4,3940E-06	4,1400E-06	4,2910E-06	4,1820E-06	3,7500E-06	4,8520E-06	4,2320E-06	4,0370E-06	4,1610E-06	4,1860E-06	4,1840E-06
500	4,3680E-06	4,6950E-06	4,4920E-06	4,4770E-06	4,1340E-06	5,1810E-06	5,0120E-06	4,1990E-06	4,5390E-06	5,1710E-06	4,5155E-06
504	4,9010E-06	4,9220E-06	4,7900E-06	4,1970E-06	4,7840E-06	5,5050E-06	4,8780E-06	4,6100E-06	4,8970E-06	5,3560E-06	4,8875E-06
508	5,1180E-06	5,4260E-06	5,2100E-06	4,6860E-06	5,4290E-06	5,6990E-06	5,5690E-06	5,3350E-06	5,5490E-06	5,5990E-06	5,4275E-06
512	5,2630E-06	5,9350E-06	5,6160E-06	5,5440E-06	5,7350E-06	5,9370E-06	6,1950E-06	5,8020E-06	6,1850E-06	6,2270E-06	5,8685E-06
516	5,4570E-06	6,4020E-06	6,1990E-06	6,3850E-06	6,3850E-06	6,6850E-06	6,6190E-06	6,2110E-06	6,6760E-06	6,8050E-06	6,3935E-06
520	6,6650E-06	6,4860E-06	6,4970E-06	6,8630E-06	6,7580E-06	7,2410E-06	6,9700E-06	6,8200E-06	7,0440E-06	7,6470E-06	6,8415E-06
524	6,6440E-06	7,0190E-06	7,1880E-06	7,1440E-06	7,3850E-06	7,0670E-06	7,3840E-06	7,3630E-06	7,3120E-06	7,8290E-06	7,2500E-06
528	7,5120E-06	7,8810E-06	7,4870E-06	7,7940E-06	7,9100E-06	7,3680E-06	7,8050E-06	7,7060E-06	8,0430E-06	8,2970E-06	7,7995E-06
532	8,1790E-06	7,8470E-06	7,9890E-06	8,4160E-06	8,3920E-06	8,0610E-06	8,5110E-06	8,6060E-06	8,7000E-06	8,8420E-06	8,4040E-06
536	8,7310E-06	8,5840E-06	8,5910E-06	9,1060E-06	8,9710E-06	8,8550E-06	9,0070E-06	9,0830E-06	9,0540E-06	9,4220E-06	8,9890E-06
540	9,1640E-06	9,6820E-06	9,5400E-06	1,0130E-05	9,6160E-06	9,7670E-06	9,6070E-06	9,7480E-06	9,2780E-06	1,1020E-05	9,6490E-06
544	1,0110E-05	1,0160E-05	1,0460E-05	1,1070E-05	1,0470E-05	1,0550E-05	1,0670E-05	1,1180E-05	1,0810E-05	1,1650E-05	1,0610E-05
548	1,0450E-05	1,1000E-05	1,1230E-05	1,1530E-05	1,1070E-05	1,1320E-05	1,1530E-05	1,1760E-05	1,1490E-05	1,2100E-05	1,1405E-05
552	1,0980E-05	1,1400E-05	1,1470E-05	1,1900E-05	1,1780E-05	1,1830E-05	1,2350E-05	1,2400E-05	1,2110E-05	1,2550E-05	1,1865E-05
556	1,1420E-05	1,1620E-05	1,2110E-05	1,2630E-05	1,2400E-05	1,2910E-05	1,2620E-05	1,2820E-05	1,3100E-05	1,3220E-05	1,2625E-05

560	1,2200E-05	1,2440E-05	1,2650E-05	1,3110E-05	1,3700E-05	1,3720E-05	1,3160E-05	1,3400E-05	1,3260E-05	1,4100E-05	1,3210E-05
564	1,2830E-05	1,3130E-05	1,3540E-05	1,3700E-05	1,3960E-05	1,4260E-05	1,3940E-05	1,4670E-05	1,3940E-05	1,5160E-05	1,3940E-05
568	1,3840E-05	1,3660E-05	1,5080E-05	1,4500E-05	1,4930E-05	1,4890E-05	1,5440E-05	1,5550E-05	1,5290E-05	1,5890E-05	1,5005E-05
572	1,4260E-05	1,5500E-05	1,5250E-05	1,5660E-05	1,6030E-05	1,6290E-05	1,6140E-05	1,6460E-05	1,6620E-05	1,6800E-05	1,6085E-05
576	1,5270E-05	1,6280E-05	1,6090E-05	1,6740E-05	1,7140E-05	1,7210E-05	1,7070E-05	1,7350E-05	1,7440E-05	1,7860E-05	1,7105E-05
580	1,6380E-05	1,7080E-05	1,7420E-05	1,8170E-05	1,7750E-05	1,7970E-05	1,7970E-05	1,8180E-05	1,8140E-05	1,8670E-05	1,7970E-05
584	1,7200E-05	1,8130E-05	1,8440E-05	1,8980E-05	1,8990E-05	1,9070E-05	1,8550E-05	1,9730E-05	1,9150E-05	2,0060E-05	1,8985E-05
588	1,8290E-05	1,8950E-05	1,9750E-05	1,9980E-05	2,0190E-05	1,9900E-05	1,9880E-05	2,0850E-05	2,0840E-05	2,1420E-05	1,9940E-05
592	1,8710E-05	1,9810E-05	2,0870E-05	2,0470E-05	2,1110E-05	2,1300E-05	2,1230E-05	2,1850E-05	2,1730E-05	2,2470E-05	2,1170E-05
596	1,9740E-05	2,1150E-05	2,1770E-05	2,1630E-05	2,2080E-05	2,2100E-05	2,2480E-05	2,2580E-05	2,3020E-05	2,3690E-05	2,2090E-05
600	2,0590E-05	2,2080E-05	2,2650E-05	2,2940E-05	2,3290E-05	2,3080E-05	2,3490E-05	2,3210E-05	2,4030E-05	2,4860E-05	2,3145E-05
604	2,1640E-05	2,2860E-05	2,3350E-05	2,3530E-05	2,4320E-05	2,4100E-05	2,4730E-05	2,4800E-05	2,5350E-05	2,6140E-05	2,4210E-05
608	2,2660E-05	2,4380E-05	2,4550E-05	2,5070E-05	2,5870E-05	2,5870E-05	2,6110E-05	2,6230E-05	2,6660E-05	2,7340E-05	2,5870E-05
612	2,3970E-05	2,5470E-05	2,5750E-05	2,6570E-05	2,7130E-05	2,7190E-05	2,7920E-05	2,8070E-05	2,8630E-05	2,9480E-05	2,7160E-05
616	2,5620E-05	2,6640E-05	2,7020E-05	2,7420E-05	2,8590E-05	2,8410E-05	2,8520E-05	2,9190E-05	2,9130E-05	3,0450E-05	2,8465E-05
620	2,6730E-05	2,7860E-05	2,8210E-05	2,9150E-05	2,9950E-05	2,9630E-05	3,0510E-05	3,0220E-05	3,0370E-05	3,1430E-05	2,9790E-05
624	2,7250E-05	2,9230E-05	2,9300E-05	3,0040E-05	3,1610E-05	3,1740E-05	3,2010E-05	3,1780E-05	3,2330E-05	3,2970E-05	3,1675E-05
628	2,8450E-05	3,0640E-05	3,2390E-05	3,1480E-05	3,2450E-05	3,1930E-05	3,3370E-05	3,3510E-05	3,3020E-05	3,5590E-05	3,2420E-05
632	3,0250E-05	3,1750E-05	3,3090E-05	3,2960E-05	3,3920E-05	3,3740E-05	3,4400E-05	3,4360E-05	3,4390E-05	3,6640E-05	3,3830E-05
636	3,1100E-05	3,3340E-05	3,4380E-05	3,4430E-05	3,5530E-05	3,5030E-05	3,5580E-05	3,6270E-05	3,6410E-05	3,7850E-05	3,5280E-05
640	3,2520E-05	3,4520E-05	3,5030E-05	3,5980E-05	3,6840E-05	3,6440E-05	3,7510E-05	3,8380E-05	3,8350E-05	3,9250E-05	3,6640E-05
644	3,4160E-05	3,6070E-05	3,6440E-05	3,7560E-05	3,8010E-05	3,8210E-05	3,9180E-05	3,9850E-05	3,9340E-05	4,1140E-05	3,8110E-05
648	3,5410E-05	3,7670E-05	3,7940E-05	3,9580E-05	3,9990E-05	4,0100E-05	4,1000E-05	4,1050E-05	4,1320E-05	4,3310E-05	4,0045E-05
652	3,6530E-05	3,8130E-05	4,0020E-05	4,0890E-05	4,1240E-05	4,1240E-05	4,2390E-05	4,2030E-05	4,3020E-05	4,5110E-05	4,1240E-05

656	3,7900E-05	3,9060E-05	4,1210E-05	4,2120E-05	4,3020E-05	4,3270E-05	4,4240E-05	4,4070E-05	4,5080E-05	4,6970E-05	4,3145E-05
660	3,9500E-05	4,0940E-05	4,2720E-05	4,4050E-05	4,4820E-05	4,4090E-05	4,5670E-05	4,6220E-05	4,6400E-05	4,8330E-05	4,4455E-05
664	4,0890E-05	4,3220E-05	4,4430E-05	4,5510E-05	4,6610E-05	4,6640E-05	4,8050E-05	4,8400E-05	4,8160E-05	5,0300E-05	4,6625E-05
668	4,2940E-05	4,5510E-05	4,6410E-05	4,6720E-05	4,8200E-05	4,8870E-05	4,9760E-05	5,0200E-05	5,0610E-05	5,2460E-05	4,8535E-05
672	4,4310E-05	4,6930E-05	4,8580E-05	4,9490E-05	4,9420E-05	5,0380E-05	5,1080E-05	5,2500E-05	5,1950E-05	5,4210E-05	4,9935E-05
676	4,5610E-05	4,8530E-05	4,9410E-05	5,1690E-05	5,1570E-05	5,1970E-05	5,3130E-05	5,4310E-05	5,3420E-05	5,6500E-05	5,1830E-05
680	4,6570E-05	4,9330E-05	5,0730E-05	5,2250E-05	5,3590E-05	5,3940E-05	5,4620E-05	5,5690E-05	5,5070E-05	5,8550E-05	5,3765E-05
684	4,8070E-05	5,0910E-05	5,3420E-05	5,4470E-05	5,5150E-05	5,6190E-05	5,6970E-05	5,7860E-05	5,7280E-05	6,1600E-05	5,5670E-05
688	5,0530E-05	5,3720E-05	5,4240E-05	5,6680E-05	5,6780E-05	5,7940E-05	5,8830E-05	5,9710E-05	5,9560E-05	6,4530E-05	5,7360E-05
692	5,1740E-05	5,4920E-05	5,5880E-05	5,7920E-05	5,8720E-05	5,9760E-05	6,0830E-05	6,1590E-05	6,2570E-05	6,5370E-05	5,9240E-05
696	5,3510E-05	5,7020E-05	5,9050E-05	6,0590E-05	6,0750E-05	6,1820E-05	6,2960E-05	6,4130E-05	6,5180E-05	6,6910E-05	6,1285E-05
700	5,6390E-05	5,8380E-05	6,1520E-05	6,3220E-05	6,4460E-05	6,4550E-05	6,5200E-05	6,5850E-05	6,7320E-05	6,9500E-05	6,4505E-05
704	5,7570E-05	6,0310E-05	6,4010E-05	6,5140E-05	6,6070E-05	6,6700E-05	6,7250E-05	6,9250E-05	6,9690E-05	7,3050E-05	6,6385E-05
708	6,0030E-05	6,1500E-05	6,5570E-05	6,7440E-05	6,7830E-05	6,8400E-05	6,9890E-05	7,1500E-05	7,2150E-05	7,5120E-05	6,8115E-05
712	6,1790E-05	6,3840E-05	6,7550E-05	6,8890E-05	7,0050E-05	7,0280E-05	7,2890E-05	7,4160E-05	7,3450E-05	7,7310E-05	7,0165E-05
716	6,4250E-05	6,6380E-05	6,9550E-05	7,1970E-05	7,2190E-05	7,3220E-05	7,5360E-05	7,6650E-05	7,6550E-05	7,9450E-05	7,2705E-05
720	6,6290E-05	6,8950E-05	7,1830E-05	7,4330E-05	7,4880E-05	7,5520E-05	7,6710E-05	7,8600E-05	7,9460E-05	8,2090E-05	7,5200E-05
724	6,8400E-05	7,1070E-05	7,3330E-05	7,5880E-05	7,7600E-05	7,7930E-05	7,9560E-05	7,9820E-05	8,0840E-05	8,5140E-05	7,7765E-05
728	6,9890E-05	7,2410E-05	7,4000E-05	7,7480E-05	7,8740E-05	7,9120E-05	8,3070E-05	8,1800E-05	8,2890E-05	8,7330E-05	7,8930E-05
732	7,0420E-05	7,5710E-05	7,7040E-05	7,9910E-05	8,2860E-05	8,1880E-05	8,6510E-05	8,5010E-05	8,6400E-05	9,0550E-05	8,2370E-05
736	7,3310E-05	7,8080E-05	8,0500E-05	8,4060E-05	8,3950E-05	8,3050E-05	8,7430E-05	8,6720E-05	8,7200E-05	9,2890E-05	8,4005E-05
740	7,6390E-05	7,8760E-05	8,3010E-05	8,7700E-05	8,6250E-05	8,6390E-05	8,9230E-05	9,0210E-05	8,8870E-05	9,5200E-05	8,7045E-05
744	7,7700E-05	8,0830E-05	8,5080E-05	8,9060E-05	8,9000E-05	9,0180E-05	9,2710E-05	9,3380E-05	9,2920E-05	9,9030E-05	8,9620E-05
748	7,9570E-05	8,1210E-05	8,7450E-05	8,9620E-05	9,2210E-05	9,4040E-05	9,3040E-05	9,6210E-05	9,9070E-05	1,0310E-04	9,2625E-05

752	8,3100E-05	8,3930E-05	8,9400E-05	9,0290E-05	9,5390E-05	9,5100E-05	9,6770E-05	1,0010E-04	9,9560E-05	1,0500E-04	9,5245E-05
756	8,5690E-05	8,6070E-05	9,2210E-05	9,4090E-05	9,6520E-05	9,6010E-05	1,0080E-04	1,0230E-04	1,0000E-04	1,0810E-04	9,6265E-05
760	8,5130E-05	9,0620E-05	9,3070E-05	9,5910E-05	9,9480E-05	1,0180E-04	1,0250E-04	1,0520E-04	1,0580E-04	1,1020E-04	1,0064E-04
764	8,5570E-05	9,7080E-05	9,4100E-05	9,9670E-05	1,0020E-04	1,0200E-04	1,0300E-04	1,0930E-04	1,0590E-04	1,1240E-04	1,0110E-04
768	9,0350E-05	9,6450E-05	9,8360E-05	1,0200E-04	1,0130E-04	1,0170E-04	1,0590E-04	1,1130E-04	1,0900E-04	1,1420E-04	1,0185E-04
772	9,1180E-05	9,6060E-05	9,8780E-05	1,0390E-04	1,0580E-04	1,0710E-04	1,0930E-04	1,1210E-04	1,1500E-04	1,1590E-04	1,0645E-04
776	9,2390E-05	9,8660E-05	1,0130E-04	1,0600E-04	1,0610E-04	1,0850E-04	1,1440E-04	1,1570E-04	1,1320E-04	1,2200E-04	1,0730E-04
780	9,2960E-05	9,8610E-05	1,0350E-04	1,0720E-04	1,1020E-04	1,0830E-04	1,1690E-04	1,1790E-04	1,1850E-04	1,2570E-04	1,0925E-04

λ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média P1
380	4,2300E-06	2,2550E-06	3,3680E-07	3,3680E-07	3,3680E-07	6,5040E-07	3,3680E-07	3,3680E-07	3,3680E-07	3,3680E-07	3,3680E-07
384	4,4760E-07	4,1190E-07	1,1680E-06	6,8350E-07	2,4630E-07	9,0210E-07	3,3080E-07	9,0210E-07	1,3390E-06	2,4630E-07	5,6555E-07
388	1,9290E-07	1,0230E-06	1,0110E-06	1,9290E-07	1,9290E-07	1,9290E-07	1,6950E-06	1,9290E-07	2,2210E-07	1,9290E-07	1,9290E-07
392	1,5820E-07	1,1910E-06	1,5820E-07	3,6860E-07	1,5820E-07	1,5820E-07	2,7420E-07	1,5820E-07	3,5840E-07	5,3700E-07	2,1620E-07
396	1,3600E-07	1,1720E-06	1,3600E-07	5,5680E-07	1,3600E-07	1,3600E-07	1,3600E-07	1,3600E-07	6,6740E-07	8,9340E-07	1,3600E-07
400	2,3660E-07	5,9520E-07	1,1860E-07	1,1860E-07	1,1860E-07	1,1860E-07	7,6740E-07	4,1350E-07	7,7210E-07	1,1860E-07	1,7760E-07
404	1,8510E-07	1,4470E-07	1,0440E-07	1,0440E-07	3,6080E-07	1,0440E-07	9,9660E-07	6,2650E-07	3,2980E-07	1,0440E-07	1,6490E-07
408	9,3800E-08	2,9960E-07	9,3800E-08	9,3800E-08	3,3180E-07	9,3800E-08	4,7600E-07	9,0580E-07	8,0500E-07	1,6240E-07	2,3100E-07
412	8,7080E-08	4,9630E-07	8,7080E-08	8,7080E-08	2,6120E-07	8,7080E-08	1,2640E-07	2,9210E-07	3,6610E-07	7,6600E-07	1,9380E-07
416	2,1980E-07	5,2980E-07	1,3290E-07	1,2410E-06	8,7460E-08	5,6750E-07	4,0820E-07	4,5430E-07	8,7460E-08	8,3000E-07	4,3125E-07
420	6,3290E-07	9,2220E-07	6,7220E-07	1,9170E-07	1,9170E-07	5,9090E-07	6,9510E-07	3,3470E-07	1,5920E-07	1,1040E-07	4,6280E-07
424	4,8910E-07	9,3870E-07	9,3590E-07	4,9420E-07	7,8720E-07	4,6830E-07	1,0640E-06	9,3730E-07	8,1020E-07	5,1500E-07	7,9870E-07
428	8,4410E-07	8,0920E-07	9,5680E-07	4,0460E-07	7,0480E-07	7,0810E-07	2,4040E-07	1,1820E-06	1,3370E-06	1,6120E-06	8,2665E-07
432	6,7870E-07	9,9010E-07	5,0330E-07	1,2240E-06	4,3020E-07	1,0100E-06	8,4220E-07	1,8790E-06	1,6710E-06	1,7400E-06	1,0001E-06
436	7,7460E-07	1,1840E-06	4,6190E-07	1,4640E-06	9,9520E-07	1,0410E-06	1,4180E-06	1,6270E-06	1,8810E-06	1,7310E-06	1,3010E-06
440	1,0210E-06	1,1750E-06	9,8690E-07	1,4500E-06	1,4160E-06	1,0770E-06	1,3140E-06	2,0940E-06	1,2650E-06	2,0150E-06	1,2895E-06
444	9,1810E-07	6,8500E-07	5,3100E-07	1,2760E-06	1,3990E-06	1,6020E-06	1,3100E-06	1,3200E-06	1,0810E-06	1,8730E-06	1,2930E-06
448	1,3430E-06	1,1640E-06	8,1820E-07	7,9130E-07	1,2260E-06	9,9460E-07	2,0260E-06	1,4980E-06	1,9660E-06	1,8460E-06	1,2845E-06
452	1,4520E-06	1,7590E-06	2,1080E-06	1,1970E-06	2,0730E-06	1,0440E-06	2,0130E-06	1,4880E-06	1,9740E-06	2,0320E-06	1,8665E-06
456	1,7120E-06	2,4800E-06	2,2640E-06	2,0310E-06	1,8350E-06	1,7770E-06	2,1540E-06	2,1920E-06	2,2840E-06	2,2790E-06	2,1730E-06
460	1,9310E-06	2,4930E-06	1,8330E-06	2,1550E-06	2,3260E-06	2,2990E-06	2,1880E-06	2,4340E-06	2,5000E-06	2,5230E-06	2,3125E-06

Tabela 13 – Cálculo da energia espectral de uma vela de parafina a uma distância de 0,97 m

464	2,6600E-06	2,0270E-06	1,8950E-06	2,3230E-06	3,2460E-06	2,1710E-06	1,9800E-06	2,5610E-06	2,3930E-06	2,6320E-06	2,3580E-06
468	2,4900E-06	2,2870E-06	1,7820E-06	1,7080E-06	3,3660E-06	2,1800E-06	2,7070E-06	2,6740E-06	2,6330E-06	3,1950E-06	2,5615E-06
472	2,3050E-06	2,4430E-06	2,0460E-06	2,7450E-06	2,3580E-06	2,8140E-06	2,8750E-06	3,0760E-06	3,4220E-06	3,7030E-06	2,7795E-06
476	2,7130E-06	2,7520E-06	2,2300E-06	2,8840E-06	2,8580E-06	3,0530E-06	3,5220E-06	3,7050E-06	4,1360E-06	3,7190E-06	2,9685E-06
480	2,7850E-06	3,0550E-06	2,6030E-06	2,8810E-06	2,7200E-06	3,2570E-06	3,5960E-06	3,9490E-06	3,8120E-06	3,6550E-06	3,1560E-06
484	3,0440E-06	3,3390E-06	2,9620E-06	3,5920E-06	3,2370E-06	3,7330E-06	3,9700E-06	4,2900E-06	3,9390E-06	4,4840E-06	3,6625E-06
488	3,5380E-06	3,4930E-06	3,8410E-06	4,0160E-06	3,8300E-06	4,2080E-06	3,8460E-06	4,2850E-06	4,5540E-06	5,0100E-06	3,9310E-06
492	3,8590E-06	3,8290E-06	3,7490E-06	4,0780E-06	3,7960E-06	4,0330E-06	4,5960E-06	4,3310E-06	4,8800E-06	5,5700E-06	4,0555E-06
496	4,2220E-06	4,1610E-06	3,6810E-06	4,3490E-06	4,3570E-06	4,0350E-06	5,0590E-06	5,1300E-06	5,5190E-06	6,6280E-06	4,3530E-06
500	4,4170E-06	4,6360E-06	4,6550E-06	4,7220E-06	4,6870E-06	4,7870E-06	5,7140E-06	5,5830E-06	6,1480E-06	6,2680E-06	4,7545E-06
504	5,1840E-06	4,8930E-06	4,4950E-06	4,7310E-06	5,0670E-06	5,4820E-06	5,7750E-06	6,1730E-06	6,1080E-06	6,3010E-06	5,3330E-06
508	5,7390E-06	5,5910E-06	4,4050E-06	5,1910E-06	5,6620E-06	5,6920E-06	6,3080E-06	6,6390E-06	6,9790E-06	6,7810E-06	5,7155E-06
512	6,1650E-06	5,9030E-06	5,1160E-06	5,7670E-06	5,8490E-06	5,9110E-06	6,6920E-06	7,0850E-06	7,0730E-06	7,1840E-06	6,0380E-06
516	6,2130E-06	6,2160E-06	5,8690E-06	5,9950E-06	6,4720E-06	6,8480E-06	7,0990E-06	7,5780E-06	7,8200E-06	8,0920E-06	6,6600E-06
520	6,1180E-06	6,4990E-06	5,8670E-06	6,5090E-06	7,5580E-06	7,2050E-06	7,5750E-06	8,2160E-06	8,6750E-06	8,5970E-06	7,3815E-06
524	7,0970E-06	6,6600E-06	6,3680E-06	7,1580E-06	7,9020E-06	7,4010E-06	8,2890E-06	8,9740E-06	8,9560E-06	9,1210E-06	7,6515E-06
528	7,6640E-06	7,1310E-06	6,5930E-06	7,2910E-06	7,9980E-06	7,6940E-06	9,1500E-06	9,5530E-06	9,5640E-06	9,7690E-06	7,8460E-06
532	7,8930E-06	7,9190E-06	7,1110E-06	8,2030E-06	8,4880E-06	8,2500E-06	9,6960E-06	1,0000E-05	9,9100E-06	1,0790E-05	8,3690E-06
536	8,1610E-06	8,7480E-06	7,4630E-06	8,6320E-06	9,1940E-06	9,1820E-06	1,0670E-05	1,0660E-05	1,0980E-05	1,1460E-05	9,1880E-06
540	9,3140E-06	9,5410E-06	8,3900E-06	9,1350E-06	9,9180E-06	1,0270E-05	1,1440E-05	1,1930E-05	1,2070E-05	1,2220E-05	1,0094E-05
544	1,0370E-05	1,0760E-05	9,3980E-06	1,0080E-05	1,0870E-05	1,1040E-05	1,1970E-05	1,2510E-05	1,3170E-05	1,3350E-05	1,0955E-05
548	1,0240E-05	1,1430E-05	1,0070E-05	1,0890E-05	1,1330E-05	1,1690E-05	1,2950E-05	1,3450E-05	1,3760E-05	1,3840E-05	1,1560E-05
552	1,1260E-05	1,1350E-05	9,8290E-06	1,1280E-05	1,1900E-05	1,2250E-05	1,3430E-05	1,3970E-05	1,4550E-05	1,4210E-05	1,2075E-05
556	1,1980E-05	1,1550E-05	1,0170E-05	1,1680E-05	1,2770E-05	1,2660E-05	1,4040E-05	1,4340E-05	1,5390E-05	1,4560E-05	1,2715E-05

560	1,2190E-05	1,2180E-05	1,0810E-05	1,2540E-05	1,3160E-05	1,3610E-05	1,4860E-05	1,5660E-05	1,6040E-05	1,6020E-05	1,3385E-05
564	1,2720E-05	1,2960E-05	1,1540E-05	1,3460E-05	1,4060E-05	1,3800E-05	1,5790E-05	1,6480E-05	1,6610E-05	1,7490E-05	1,3930E-05
568	1,3550E-05	1,3420E-05	1,2440E-05	1,4370E-05	1,5200E-05	1,4640E-05	1,6480E-05	1,7320E-05	1,7710E-05	1,8860E-05	1,4920E-05
572	1,4280E-05	1,4390E-05	1,3460E-05	1,5360E-05	1,5670E-05	1,5740E-05	1,7290E-05	1,8060E-05	1,9110E-05	1,9420E-05	1,5705E-05
576	1,5340E-05	1,5600E-05	1,4480E-05	1,5880E-05	1,6210E-05	1,6720E-05	1,8630E-05	1,9080E-05	2,0100E-05	2,0730E-05	1,6465E-05
580	1,6810E-05	1,6570E-05	1,5420E-05	1,6220E-05	1,7020E-05	1,7490E-05	1,9410E-05	2,0260E-05	2,1010E-05	2,1650E-05	1,7255E-05
584	1,7370E-05	1,7040E-05	1,5320E-05	1,6990E-05	1,8150E-05	1,8350E-05	2,0580E-05	2,1980E-05	2,2570E-05	2,2800E-05	1,8250E-05
588	1,8040E-05	1,7730E-05	1,6040E-05	1,8000E-05	1,9410E-05	1,9280E-05	2,2250E-05	2,2460E-05	2,3760E-05	2,4330E-05	1,9345E-05
592	1,8370E-05	1,8890E-05	1,6940E-05	1,8970E-05	2,0560E-05	2,0720E-05	2,3490E-05	2,3880E-05	2,4690E-05	2,6020E-05	2,0640E-05
596	1,9220E-05	2,0130E-05	1,7710E-05	1,9800E-05	2,1060E-05	2,1300E-05	2,3500E-05	2,5480E-05	2,6010E-05	2,7380E-05	2,1180E-05
600	2,0320E-05	2,0930E-05	1,8810E-05	2,0880E-05	2,2230E-05	2,2400E-05	2,4710E-05	2,6720E-05	2,7150E-05	2,8610E-05	2,2315E-05
604	2,1550E-05	2,1720E-05	1,9970E-05	2,2000E-05	2,3040E-05	2,3530E-05	2,6160E-05	2,8220E-05	2,8370E-05	2,9840E-05	2,3285E-05
608	2,2640E-05	2,2710E-05	2,0710E-05	2,3070E-05	2,4510E-05	2,4400E-05	2,7380E-05	2,9710E-05	2,9500E-05	3,1610E-05	2,4455E-05
612	2,3670E-05	2,3570E-05	2,1280E-05	2,4290E-05	2,5550E-05	2,6250E-05	2,9190E-05	3,1100E-05	3,0940E-05	3,3100E-05	2,5900E-05
616	2,4430E-05	2,4880E-05	2,2060E-05	2,5420E-05	2,6650E-05	2,7550E-05	3,0360E-05	3,1740E-05	3,2120E-05	3,4390E-05	2,7100E-05
620	2,5400E-05	2,5730E-05	2,3260E-05	2,6180E-05	2,7770E-05	2,8370E-05	3,1100E-05	3,3080E-05	3,3910E-05	3,5530E-05	2,8070E-05
624	2,6180E-05	2,7580E-05	2,4340E-05	2,7320E-05	2,8790E-05	2,9660E-05	3,2380E-05	3,4510E-05	3,5500E-05	3,7230E-05	2,9225E-05
628	2,7810E-05	2,8770E-05	2,5560E-05	2,8260E-05	3,0080E-05	3,1120E-05	3,4170E-05	3,6300E-05	3,7070E-05	3,9040E-05	3,0600E-05
632	2,8800E-05	2,9760E-05	2,6590E-05	2,9560E-05	3,1480E-05	3,2350E-05	3,5950E-05	3,7780E-05	3,9010E-05	4,0410E-05	3,1915E-05
636	2,9730E-05	3,0960E-05	2,7790E-05	3,0710E-05	3,2140E-05	3,3390E-05	3,7410E-05	3,8840E-05	4,0370E-05	4,1710E-05	3,2765E-05
640	3,0860E-05	3,1960E-05	2,8690E-05	3,2070E-05	3,3810E-05	3,4310E-05	3,8370E-05	4,0750E-05	4,2140E-05	4,3510E-05	3,4060E-05
644	3,1930E-05	3,3100E-05	2,9280E-05	3,3820E-05	3,5190E-05	3,6080E-05	3,9480E-05	4,2460E-05	4,3660E-05	4,5180E-05	3,5635E-05
648	3,3090E-05	3,4720E-05	3,0350E-05	3,4750E-05	3,7120E-05	3,7780E-05	4,1120E-05	4,4900E-05	4,5190E-05	4,7740E-05	3,7450E-05
652	3,4270E-05	3,5920E-05	3,1440E-05	3,6250E-05	3,8450E-05	3,9140E-05	4,2540E-05	4,6120E-05	4,7300E-05	4,9410E-05	3,8795E-05

656	3,5560E-05	3,7310E-05	3,2890E-05	3,7320E-05	3,9340E-05	4,0570E-05	4,4800E-05	4,7480E-05	4,8650E-05	5,1900E-05	3,9955E-05
660	3,6270E-05	3,7990E-05	3,3730E-05	3,9110E-05	4,0600E-05	4,2070E-05	4,5900E-05	4,8840E-05	5,0100E-05	5,3510E-05	4,1335E-05
664	3,8460E-05	4,0230E-05	3,4920E-05	4,0630E-05	4,1320E-05	4,2980E-05	4,8170E-05	5,1540E-05	5,2030E-05	5,4770E-05	4,2150E-05
668	4,0430E-05	4,0950E-05	3,7260E-05	4,1740E-05	4,3380E-05	4,4530E-05	5,0610E-05	5,3500E-05	5,5330E-05	5,6030E-05	4,3955E-05
672	4,0940E-05	4,2720E-05	3,8520E-05	4,3020E-05	4,5250E-05	4,6130E-05	5,1950E-05	5,4840E-05	5,6900E-05	5,8210E-05	4,5690E-05
676	4,1600E-05	4,3990E-05	3,8920E-05	4,4460E-05	4,6490E-05	4,7590E-05	5,3110E-05	5,6710E-05	5,8880E-05	6,1170E-05	4,7040E-05
680	4,3910E-05	4,5080E-05	3,9630E-05	4,5860E-05	4,8250E-05	4,8610E-05	5,5160E-05	5,8690E-05	6,0330E-05	6,3490E-05	4,8430E-05
684	4,5230E-05	4,6630E-05	4,1430E-05	4,7240E-05	4,9820E-05	5,1050E-05	5,6410E-05	6,0670E-05	6,2380E-05	6,4940E-05	5,0435E-05
688	4,6670E-05	4,7970E-05	4,2880E-05	4,9160E-05	5,1180E-05	5,2880E-05	5,8830E-05	6,2780E-05	6,4590E-05	6,7940E-05	5,2030E-05
692	4,8040E-05	4,9010E-05	4,4740E-05	5,0810E-05	5,2690E-05	5,4450E-05	6,1100E-05	6,4760E-05	6,7170E-05	6,9370E-05	5,3570E-05
696	5,0120E-05	4,9780E-05	4,5560E-05	5,2560E-05	5,4600E-05	5,6410E-05	6,3040E-05	6,6230E-05	6,8880E-05	7,1320E-05	5,5505E-05
700	5,1990E-05	5,2540E-05	4,6750E-05	5,3640E-05	5,6080E-05	5,8420E-05	6,4870E-05	6,8620E-05	7,0970E-05	7,3400E-05	5,7250E-05
704	5,3190E-05	5,5190E-05	4,8460E-05	5,5220E-05	5,8260E-05	5,9430E-05	6,7060E-05	7,0860E-05	7,3070E-05	7,6530E-05	5,8845E-05
708	5,4320E-05	5,6750E-05	4,9850E-05	5,5620E-05	5,9900E-05	6,0560E-05	6,9630E-05	7,3010E-05	7,5750E-05	7,9270E-05	6,0230E-05
712	5,5120E-05	5,7670E-05	5,1870E-05	5,7140E-05	6,1550E-05	6,3620E-05	7,1300E-05	7,4740E-05	7,8700E-05	8,1310E-05	6,2585E-05
716	5,7810E-05	6,0270E-05	5,2430E-05	5,9560E-05	6,4370E-05	6,5260E-05	7,3590E-05	7,7890E-05	8,1500E-05	8,4200E-05	6,4815E-05
720	5,9970E-05	6,2150E-05	5,4140E-05	6,2550E-05	6,5780E-05	6,7460E-05	7,5140E-05	8,0240E-05	8,3340E-05	8,6220E-05	6,6620E-05
724	6,0570E-05	6,4070E-05	5,6250E-05	6,4800E-05	6,7140E-05	6,8710E-05	7,6920E-05	8,2680E-05	8,4930E-05	8,8610E-05	6,7925E-05
728	6,2520E-05	6,5690E-05	5,7350E-05	6,5420E-05	6,8620E-05	7,1660E-05	7,9730E-05	8,5660E-05	8,5690E-05	9,1410E-05	7,0140E-05
732	6,4270E-05	6,5790E-05	5,7620E-05	6,5930E-05	6,9540E-05	7,4480E-05	8,3920E-05	8,8160E-05	8,9920E-05	9,4250E-05	7,2010E-05
736	6,5900E-05	6,8140E-05	5,9170E-05	6,6650E-05	7,3230E-05	7,5980E-05	8,3780E-05	9,0620E-05	9,2470E-05	9,5180E-05	7,4605E-05
740	6,6780E-05	6,9840E-05	6,2730E-05	6,8230E-05	7,5180E-05	7,7370E-05	8,5520E-05	9,1630E-05	9,3750E-05	9,8940E-05	7,6275E-05
744	6,7060E-05	7,3200E-05	6,6290E-05	7,1020E-05	7,6390E-05	7,9280E-05	8,7910E-05	9,5050E-05	9,5610E-05	1,0110E-04	7,7835E-05
748	6,9750E-05	7,5260E-05	6,4480E-05	7,2480E-05	7,6340E-05	8,0600E-05	9,0580E-05	9,7030E-05	9,9520E-05	1,0440E-04	7,8470E-05

752	7,2450E-05	7,7820E-05	6,3700E-05	7,4730E-05	7,9000E-05	8,4190E-05	9,1780E-05	9,8130E-05	1,0020E-04	1,0720E-04	8,1595E-05
756	7,2750E-05	7,9820E-05	6,5200E-05	7,6950E-05	8,1340E-05	8,3300E-05	9,4280E-05	1,0040E-04	1,0280E-04	1,0900E-04	8,2320E-05
760	7,3220E-05	8,0280E-05	7,0920E-05	8,0620E-05	8,3930E-05	8,5580E-05	9,6940E-05	1,0620E-04	1,0820E-04	1,1070E-04	8,4755E-05
764	7,8310E-05	7,8220E-05	7,4260E-05	8,0050E-05	8,5500E-05	8,7650E-05	9,8550E-05	1,0700E-04	1,1170E-04	1,1630E-04	8,6575E-05
768	8,2170E-05	8,0530E-05	7,1830E-05	8,3400E-05	8,8740E-05	9,1460E-05	9,9420E-05	1,0930E-04	1,1050E-04	1,1950E-04	9,0100E-05
772	7,8430E-05	8,2860E-05	7,1440E-05	8,4530E-05	8,9910E-05	9,1790E-05	9,8500E-05	1,1010E-04	1,0920E-04	1,2070E-04	9,0850E-05
776	8,0570E-05	8,3340E-05	7,1840E-05	8,6790E-05	8,8450E-05	9,5990E-05	1,0260E-04	1,1130E-04	1,1300E-04	1,2400E-04	9,2220E-05
780	8,4140E-05	8,6580E-05	7,3290E-05	8,7030E-05	8,8420E-05	9,7450E-05	1,0400E-04	1,1310E-04	1,1920E-04	1,2530E-04	9,2935E-05

λ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média P2
380	3,3680E-07	3,3680E-07	3,3680E-07	3,3680E-07	3,3680E-07	8,8490E-07	3,3680E-07	6,1090E-07	2,5920E-06	1,7070E-06	3,3680E-07
384	2,4630E-07	1,5580E-06	2,4630E-07	2,4630E-07	2,4630E-07	1,3850E-06	2,4630E-07	3,2090E-07	1,4860E-06	3,3780E-07	2,8360E-07
388	1,9290E-07	1,9290E-07	1,9290E-07	2,5140E-07	1,9290E-07	3,5650E-07	1,9290E-07	1,1740E-06	1,9290E-07	2,8070E-07	1,9290E-07
392	1,5820E-07	1,5820E-07	1,5820E-07	6,0080E-07	1,5820E-07	3,2660E-07	1,5820E-07	1,5820E-07	2,0030E-07	5,0640E-07	1,5820E-07
396	1,3600E-07	2,3970E-07	3,4350E-07	6,6050E-07	3,4350E-07	1,2510E-06	3,4350E-07	1,8790E-07	2,2020E-07	1,3600E-07	2,9160E-07
400	2,3660E-07	2,3790E-07	3,5720E-07	2,3790E-07	5,3420E-07	1,0130E-06	1,1240E-06	2,3730E-07	2,3660E-07	5,9050E-07	2,9755E-07
404	1,8510E-07	6,8130E-07	1,0440E-07	1,0440E-07	2,2540E-07	1,0440E-07	1,0130E-06	1,4470E-07	4,4150E-07	1,3240E-06	2,0525E-07
408	9,3800E-08	3,2070E-07	4,3680E-07	7,7980E-07	1,6240E-07	4,3680E-07	2,4500E-07	7,1120E-07	1,9460E-07	1,4070E-06	3,7875E-07
412	6,7890E-07	8,2680E-07	8,1840E-07	1,0320E-06	1,0020E-07	1,5260E-07	8,7080E-08	2,0510E-07	8,7080E-08	2,7060E-07	2,3785E-07
416	8,0550E-07	1,3540E-06	1,4910E-07	7,6270E-07	3,7200E-07	1,8360E-07	8,8620E-07	7,9930E-07	2,5610E-07	8,2270E-08	5,6735E-07
420	1,2080E-06	2,0130E-07	5,9420E-07	2,5680E-07	9,4180E-08	3,2460E-07	9,1880E-07	7,7920E-07	4,2210E-07	7,7920E-08	3,7335E-07
424	4,1950E-07	1,4720E-07	6,4210E-07	9,1220E-07	3,4330E-07	1,9610E-07	6,1840E-07	8,1310E-07	6,4000E-07	1,4720E-07	5,1895E-07
428	5,0580E-07	7,1970E-07	4,8090E-07	9,3690E-07	7,9100E-07	7,0140E-07	2,7200E-07	9,9990E-07	7,4120E-07	2,7860E-07	7,1055E-07
432	7,0520E-07	8,9330E-07	5,3340E-07	9,7190E-07	8,2850E-07	8,8510E-07	9,0890E-07	7,2160E-07	4,8500E-07	5,3530E-07	7,7505E-07
436	7,6140E-07	9,6930E-07	3,3860E-07	1,2040E-06	9,1740E-07	9,1740E-07	1,4380E-06	9,1060E-07	3,4500E-07	1,2620E-06	9,1740E-07
440	9,2660E-07	1,1940E-06	7,3080E-07	1,1750E-06	2,7470E-07	8,0220E-07	1,4730E-06	1,1410E-06	6,3660E-07	1,5250E-06	1,0338E-06
444	1,4370E-06	8,4200E-07	1,0590E-06	1,4700E-06	1,0650E-06	8,5720E-07	1,5400E-06	9,7260E-07	1,0670E-06	1,5090E-06	1,0660E-06
448	1,1270E-06	1,0680E-06	1,2110E-06	1,3300E-06	1,0670E-06	1,4870E-06	1,4630E-06	1,9170E-06	1,3180E-06	2,1680E-06	1,3240E-06
452	1,3740E-06	1,4140E-06	1,2960E-06	1,2380E-06	1,1810E-06	1,4920E-06	1,8960E-06	1,6840E-06	1,2950E-06	1,0880E-06	1,3350E-06
456	1,7380E-06	1,7200E-06	1,3650E-06	1,7340E-06	1,1810E-06	1,5800E-06	1,7900E-06	1,7310E-06	1,6790E-06	9,3840E-07	1,6995E-06
460	2,2830E-06	2,1120E-06	1,6790E-06	2,2400E-06	1,6790E-06	1,6160E-06	1,3730E-06	1,6750E-06	1,5630E-06	1,9150E-06	1,6790E-06

Tabela 14 – Cálculo da energia espectral de uma vela de parafina a uma distância de 1,14 m

464	2,0580E-06	1,9730E-06	1,6630E-06	2,3460E-06	2,3410E-06	1,9700E-06	1,9450E-06	2,5020E-06	1,7530E-06	2,1480E-06	2,0155E-06
468	1,8200E-06	1,9220E-06	1,9570E-06	2,0730E-06	2,1910E-06	1,9160E-06	2,6080E-06	3,0800E-06	2,0450E-06	2,2810E-06	2,0590E-06
472	1,5150E-06	2,4320E-06	2,4940E-06	2,1470E-06	2,5730E-06	2,3940E-06	2,1670E-06	2,6550E-06	2,5560E-06	2,3840E-06	2,4130E-06
476	2,3740E-06	3,0270E-06	2,4260E-06	2,5570E-06	2,6610E-06	2,7270E-06	3,0010E-06	2,7400E-06	2,8570E-06	2,5310E-06	2,6940E-06
480	2,5520E-06	2,9570E-06	2,7760E-06	2,6540E-06	2,8310E-06	2,6830E-06	2,7380E-06	2,7760E-06	2,9870E-06	2,6690E-06	2,7570E-06
484	2,9120E-06	3,0370E-06	3,0850E-06	3,0130E-06	3,0890E-06	2,6840E-06	2,7920E-06	3,3710E-06	3,2820E-06	3,0570E-06	3,0470E-06
488	3,2420E-06	3,2440E-06	3,6640E-06	3,2440E-06	3,2460E-06	3,1720E-06	3,4360E-06	3,2050E-06	3,4720E-06	3,3710E-06	3,2450E-06
492	3,5260E-06	3,7880E-06	3,9980E-06	3,4390E-06	3,2350E-06	3,5750E-06	3,8590E-06	3,7550E-06	3,8490E-06	3,9940E-06	3,7715E-06
496	4,0070E-06	3,7300E-06	4,3550E-06	3,9420E-06	3,7500E-06	4,0940E-06	4,2450E-06	4,0190E-06	4,3060E-06	4,0740E-06	4,0465E-06
500	4,5470E-06	4,0100E-06	4,2460E-06	4,4650E-06	4,3280E-06	4,0470E-06	4,7270E-06	4,2840E-06	4,4170E-06	4,3230E-06	4,3255E-06
504	4,4340E-06	4,6440E-06	4,2810E-06	4,8640E-06	4,7760E-06	4,6850E-06	5,0080E-06	4,2980E-06	5,0500E-06	4,0970E-06	4,6645E-06
508	4,4540E-06	4,5520E-06	4,9710E-06	4,9250E-06	4,9080E-06	5,0290E-06	5,0680E-06	4,9720E-06	5,1490E-06	4,7490E-06	4,9480E-06
512	5,0270E-06	5,2170E-06	5,2800E-06	5,1100E-06	5,2850E-06	5,2130E-06	5,3390E-06	5,6780E-06	5,3960E-06	5,7000E-06	5,2825E-06
516	5,9820E-06	6,2710E-06	5,0250E-06	5,4150E-06	5,5560E-06	5,8480E-06	5,7660E-06	6,0720E-06	5,9010E-06	6,0250E-06	5,8745E-06
520	6,3910E-06	6,3940E-06	5,4780E-06	6,3070E-06	6,2650E-06	5,9920E-06	6,0860E-06	6,4300E-06	6,7130E-06	6,5220E-06	6,3490E-06
524	6,4390E-06	6,7260E-06	6,0100E-06	7,0840E-06	6,3510E-06	6,6730E-06	6,9680E-06	7,0490E-06	7,3760E-06	6,6870E-06	6,7065E-06
528	6,9640E-06	7,2380E-06	6,7730E-06	7,1080E-06	6,7200E-06	7,5040E-06	7,4200E-06	7,3960E-06	7,7960E-06	7,0840E-06	7,1730E-06
532	7,1590E-06	7,5380E-06	7,8950E-06	7,4680E-06	7,5150E-06	7,9660E-06	7,7520E-06	8,0850E-06	8,1320E-06	7,6340E-06	7,6930E-06
536	7,3630E-06	8,1250E-06	8,4180E-06	8,2680E-06	8,2650E-06	8,1570E-06	8,3060E-06	8,8740E-06	8,5630E-06	8,5960E-06	8,2870E-06
540	8,8880E-06	8,7960E-06	8,9000E-06	8,7120E-06	8,7590E-06	8,6260E-06	8,8060E-06	9,3060E-06	9,4080E-06	9,3620E-06	8,8470E-06
544	9,5550E-06	9,5460E-06	9,7670E-06	9,4440E-06	9,8790E-06	9,3360E-06	9,4130E-06	1,0410E-05	1,0090E-05	1,0080E-05	9,6610E-06
548	1,0320E-05	9,6750E-06	1,0160E-05	1,0550E-05	1,0340E-05	9,9000E-06	1,0000E-05	1,1000E-05	1,0440E-05	1,0600E-05	1,0330E-05
552	1,0670E-05	1,0180E-05	1,0350E-05	1,0850E-05	1,1040E-05	1,0260E-05	1,1010E-05	1,1360E-05	1,1130E-05	1,0610E-05	1,0760E-05
556	1,0890E-05	1,0870E-05	1,1100E-05	1,1390E-05	1,1520E-05	1,1090E-05	1,1430E-05	1,1730E-05	1,1590E-05	1,1720E-05	1,1410E-05

560	1,1150E-05	1,2100E-05	1,1800E-05	1,1620E-05	1,1880E-05	1,1610E-05	1,2120E-05	1,2630E-05	1,2160E-05	1,1980E-05	1,1930E-05
564	1,1810E-05	1,2900E-05	1,2310E-05	1,2710E-05	1,2600E-05	1,2020E-05	1,2710E-05	1,3760E-05	1,3020E-05	1,2260E-05	1,2655E-05
568	1,2940E-05	1,3430E-05	1,2670E-05	1,3340E-05	1,3300E-05	1,3010E-05	1,3830E-05	1,4010E-05	1,4100E-05	1,3770E-05	1,3385E-05
572	1,3690E-05	1,4020E-05	1,3620E-05	1,3890E-05	1,3930E-05	1,4090E-05	1,4200E-05	1,4770E-05	1,4900E-05	1,4300E-05	1,4055E-05
576	1,4370E-05	1,4920E-05	1,4660E-05	1,4390E-05	1,5040E-05	1,4850E-05	1,4990E-05	1,5810E-05	1,6070E-05	1,4990E-05	1,4955E-05
580	1,5200E-05	1,6270E-05	1,5520E-05	1,5570E-05	1,5670E-05	1,5870E-05	1,5950E-05	1,6880E-05	1,6860E-05	1,5980E-05	1,5910E-05
584	1,6130E-05	1,6600E-05	1,6750E-05	1,6340E-05	1,6130E-05	1,6640E-05	1,7320E-05	1,7170E-05	1,7290E-05	1,6920E-05	1,6695E-05
588	1,7160E-05	1,7460E-05	1,7650E-05	1,7360E-05	1,7350E-05	1,7840E-05	1,8340E-05	1,7970E-05	1,8240E-05	1,7830E-05	1,7740E-05
592	1,8240E-05	1,8200E-05	1,7900E-05	1,8220E-05	1,8120E-05	1,8690E-05	1,9040E-05	1,8880E-05	1,9600E-05	1,8850E-05	1,8465E-05
596	1,9160E-05	1,9000E-05	1,8690E-05	1,9230E-05	1,9190E-05	1,9270E-05	1,9900E-05	1,9750E-05	2,0200E-05	1,9550E-05	1,9250E-05
600	1,9640E-05	1,9910E-05	1,9810E-05	2,0240E-05	2,0080E-05	2,0430E-05	2,0580E-05	2,1270E-05	2,0790E-05	2,0530E-05	2,0335E-05
604	2,0220E-05	2,0890E-05	2,0500E-05	2,1690E-05	2,0600E-05	2,1580E-05	2,1540E-05	2,2060E-05	2,1950E-05	2,1930E-05	2,1560E-05
608	2,1340E-05	2,1580E-05	2,1320E-05	2,2960E-05	2,2170E-05	2,2750E-05	2,3040E-05	2,3170E-05	2,3720E-05	2,2630E-05	2,2690E-05
612	2,2340E-05	2,2940E-05	2,2860E-05	2,3110E-05	2,3170E-05	2,4160E-05	2,4390E-05	2,4630E-05	2,4890E-05	2,3890E-05	2,3530E-05
616	2,3350E-05	2,4480E-05	2,3860E-05	2,4060E-05	2,4140E-05	2,4740E-05	2,5690E-05	2,5720E-05	2,6180E-05	2,5010E-05	2,4610E-05
620	2,4780E-05	2,5630E-05	2,4470E-05	2,5310E-05	2,4950E-05	2,5490E-05	2,6600E-05	2,7050E-05	2,6940E-05	2,6020E-05	2,5560E-05
624	2,5440E-05	2,6610E-05	2,5380E-05	2,6600E-05	2,5920E-05	2,6740E-05	2,7100E-05	2,8060E-05	2,7800E-05	2,7530E-05	2,6675E-05
628	2,6380E-05	2,7260E-05	2,6790E-05	2,7720E-05	2,7790E-05	2,7540E-05	2,8450E-05	2,9070E-05	2,9120E-05	2,9240E-05	2,7755E-05
632	2,8090E-05	2,8620E-05	2,8310E-05	2,8620E-05	2,9070E-05	2,9130E-05	2,9800E-05	3,0670E-05	3,0540E-05	2,9690E-05	2,9100E-05
636	2,9290E-05	3,0060E-05	2,9710E-05	2,9620E-05	3,0080E-05	3,0140E-05	3,0820E-05	3,1780E-05	3,2130E-05	3,0740E-05	3,0110E-05
640	3,0210E-05	3,0890E-05	3,0920E-05	3,1130E-05	3,1190E-05	3,1210E-05	3,2510E-05	3,3060E-05	3,2680E-05	3,1950E-05	3,1200E-05
644	3,1240E-05	3,1900E-05	3,2130E-05	3,3380E-05	3,2630E-05	3,2150E-05	3,3200E-05	3,3440E-05	3,3970E-05	3,3640E-05	3,2915E-05
648	3,2140E-05	3,4010E-05	3,2830E-05	3,4120E-05	3,3210E-05	3,3790E-05	3,4810E-05	3,4590E-05	3,6260E-05	3,5800E-05	3,4065E-05
652	3,3410E-05	3,5060E-05	3,4420E-05	3,5350E-05	3,4640E-05	3,4880E-05	3,6250E-05	3,6740E-05	3,7110E-05	3,6590E-05	3,5205E-05

656	3,5320E-05	3,6360E-05	3,5830E-05	3,6510E-05	3,5920E-05	3,6470E-05	3,7730E-05	3,8680E-05	3,8740E-05	3,7890E-05	3,6490E-05
660	3,7070E-05	3,8200E-05	3,7330E-05	3,7140E-05	3,7540E-05	3,8120E-05	3,8610E-05	3,9960E-05	4,0020E-05	3,8420E-05	3,8160E-05
664	3,7590E-05	3,9530E-05	3,8890E-05	3,9480E-05	3,9130E-05	3,9340E-05	3,9920E-05	4,1730E-05	4,1420E-05	3,9980E-05	3,9505E-05
668	3,8870E-05	4,0670E-05	4,0170E-05	4,1080E-05	4,0920E-05	4,0040E-05	4,1020E-05	4,2750E-05	4,3170E-05	4,1880E-05	4,0970E-05
672	4,0260E-05	4,2070E-05	4,1220E-05	4,2360E-05	4,1480E-05	4,1870E-05	4,2570E-05	4,4110E-05	4,5110E-05	4,3600E-05	4,2215E-05
676	4,2240E-05	4,3490E-05	4,2810E-05	4,3290E-05	4,3470E-05	4,4370E-05	4,4380E-05	4,6170E-05	4,6990E-05	4,5380E-05	4,3930E-05
680	4,4000E-05	4,4700E-05	4,3250E-05	4,4310E-05	4,4940E-05	4,5620E-05	4,6210E-05	4,6890E-05	4,8120E-05	4,6320E-05	4,5280E-05
684	4,5710E-05	4,6280E-05	4,5730E-05	4,5840E-05	4,6550E-05	4,7260E-05	4,7930E-05	4,8590E-05	5,0030E-05	4,7670E-05	4,6905E-05
688	4,6770E-05	4,7540E-05	4,6890E-05	4,8200E-05	4,8060E-05	4,9030E-05	4,8870E-05	5,0830E-05	5,0570E-05	5,0290E-05	4,8535E-05
692	4,8710E-05	4,9410E-05	4,8560E-05	5,0170E-05	5,0140E-05	5,0210E-05	5,0790E-05	5,2110E-05	5,2450E-05	5,2010E-05	5,0190E-05
696	4,9560E-05	5,0790E-05	5,0360E-05	5,1490E-05	5,1420E-05	5,1770E-05	5,2450E-05	5,3870E-05	5,4530E-05	5,3790E-05	5,1630E-05
700	5,1750E-05	5,2010E-05	5,2270E-05	5,2820E-05	5,2880E-05	5,3420E-05	5,5260E-05	5,6770E-05	5,6730E-05	5,4090E-05	5,3150E-05
704	5,3430E-05	5,3980E-05	5,3780E-05	5,4950E-05	5,4620E-05	5,5760E-05	5,5550E-05	5,7850E-05	5,7570E-05	5,6720E-05	5,5250E-05
708	5,4960E-05	5,5100E-05	5,5150E-05	5,6710E-05	5,6550E-05	5,7340E-05	5,7580E-05	5,8510E-05	6,0690E-05	5,8960E-05	5,7025E-05
712	5,6840E-05	5,7410E-05	5,6180E-05	5,9270E-05	5,8970E-05	5,9100E-05	6,0360E-05	6,1540E-05	6,2260E-05	5,9510E-05	5,9185E-05
716	5,8420E-05	5,8660E-05	5,8680E-05	5,9710E-05	6,0700E-05	6,0470E-05	6,1890E-05	6,3450E-05	6,4000E-05	6,1210E-05	6,0585E-05
720	5,9220E-05	6,0950E-05	6,1890E-05	6,1140E-05	6,0690E-05	6,2380E-05	6,3040E-05	6,4340E-05	6,6600E-05	6,4580E-05	6,2135E-05
724	6,0630E-05	6,2930E-05	6,3510E-05	6,3540E-05	6,3870E-05	6,4100E-05	6,5210E-05	6,5620E-05	6,8060E-05	6,6490E-05	6,3985E-05
728	6,3510E-05	6,4460E-05	6,5100E-05	6,5860E-05	6,5720E-05	6,6420E-05	6,6620E-05	6,9720E-05	6,9190E-05	6,8040E-05	6,6140E-05
732	6,6700E-05	6,6980E-05	6,5760E-05	6,6590E-05	6,8220E-05	6,8150E-05	6,8970E-05	7,0170E-05	7,2250E-05	6,9170E-05	6,8185E-05
736	6,7940E-05	6,7380E-05	6,7020E-05	6,8090E-05	6,9500E-05	6,9320E-05	7,1800E-05	7,2250E-05	7,5230E-05	7,1810E-05	6,9410E-05
740	6,9070E-05	6,9360E-05	6,8960E-05	7,0130E-05	7,1830E-05	7,1330E-05	7,4200E-05	7,4670E-05	7,6790E-05	7,2130E-05	7,1580E-05
744	7,1830E-05	7,1220E-05	7,0170E-05	7,1340E-05	7,4110E-05	7,3100E-05	7,4980E-05	7,6410E-05	7,6510E-05	7,4010E-05	7,3555E-05
748	7,2670E-05	7,3860E-05	7,2520E-05	7,4220E-05	7,8400E-05	7,6970E-05	7,7240E-05	7,8060E-05	8,0930E-05	7,6060E-05	7,6515E-05

752	7,3870E-05	7,5960E-05	7,4190E-05	7,5110E-05	7,6570E-05	7,8400E-05	7,7950E-05	8,0390E-05	8,4060E-05	7,9320E-05	7,7260E-05
756	7,5030E-05	7,9420E-05	7,4560E-05	7,6900E-05	7,4940E-05	7,9760E-05	8,1130E-05	8,2810E-05	8,5920E-05	8,0610E-05	7,9590E-05
760	7,8730E-05	8,0310E-05	7,8300E-05	7,8970E-05	7,9560E-05	8,1660E-05	8,3130E-05	8,5650E-05	8,3280E-05	8,3570E-05	8,0985E-05
764	8,1470E-05	8,0730E-05	8,1320E-05	8,3890E-05	8,2420E-05	8,3400E-05	8,5530E-05	8,5080E-05	8,6890E-05	8,6330E-05	8,3645E-05
768	8,3450E-05	8,2110E-05	8,1690E-05	8,3600E-05	8,6420E-05	8,4190E-05	8,3330E-05	8,6000E-05	8,7790E-05	8,6630E-05	8,3895E-05
772	8,4620E-05	8,4280E-05	8,4430E-05	8,4190E-05	8,6750E-05	8,5490E-05	8,6730E-05	8,8080E-05	9,0930E-05	8,8270E-05	8,6110E-05
776	8,7270E-05	8,5630E-05	8,5690E-05	8,5760E-05	8,8330E-05	9,1010E-05	8,8480E-05	9,1630E-05	9,3080E-05	9,1270E-05	8,8405E-05
780	8,7610E-05	8,9440E-05	9,0640E-05	8,8720E-05	8,9870E-05	9,2630E-05	9,3340E-05	9,3600E-05	9,5550E-05	9,4210E-05	9,1635E-05

# **A hexo B – Cálculo dos valores** $\overline{x}$ , $\overline{y}$ , $\overline{z}$ e X, Y, Z

λ	X	$\overline{\mathbf{y}}$	Z
380	0,001368	0,000039	0,006450
384	0,002062	0,000059	0,009730
388	0,003440	0,000098	0,016250
392	0,005606	0,000159	0,026514
396	0,008982	0,000253	0,042538
400	0,014310	0,000396	0,067850
404	0,021414	0,000591	0,101730
408	0,035382	0,000982	0,168520
412	0,057158	0,001598	0,272960
416	0,088980	0,002544	0,426160
420	0,134380	0,004000	0,645600
424	0,198692	0,006640	0,960360
428	0,256248	0,009880	1,246980
432	0,301740	0,013696	1,480544
436	0,332456	0,018072	1,647780
440	0,348280	0,023000	1,747060
444	0,348104	0,028440	1,775492
448	0,340944	0,034720	1,776306
452	0,329200	0,042000	1,760906
456	0,313120	0,050400	1,729120
460	0,290800	0,060000	1,669200
464	0,259040	0,071120	1,556320
468	0,217656	0,084148	1,383824
472	0,174056	0,099628	1,189344
476	0,132808	0,117884	0,996110
<b>480</b>	0,095640	0,139020	0,812950
484	0,065488	0,163244	0,655550
488	0,042386	0,192532	0,525588
492	0,025086	0,228252	0,420428
496	0,012740	0,271480	0,337040
500	0,004900	0,323000	0,272000
504	0,002900	0,390440	0,224240
508	0,006540	0,464720	0,179840

Tabela 15 – Valores obtidos pelo espectroradiómetro (à esquerda) valores do observador padrão CIE (2º) (à direita)

λ	X	$\overline{\mathbf{y}}$	Z
380	0,001368	0,000039	0,006450
385	0,002236	0,000064	0,010550
390	0,004243	0,000120	0,020050
395	0,007650	0,000217	0,036210
400	0,014310	0,000396	0,067850
405	0,023190	0,000640	0,110200
410	0,043510	0,001210	0,207400
415	0,077630	0,002180	0,371300
420	0,134380	0,004000	0,645600
425	0,214770	0,007300	1,039050
430	0,283900	0,011600	1,385600
435	0,328500	0,016840	1,622960
440	0,348280	0,023000	1,747060
445	0,348060	0,029800	1,782600
450	0,336200	0,038000	1,772110
455	0,318700	0,048000	1,744100
460	0,290800	0,060000	1,669200
465	0,251100	0,073900	1,528100
470	0,195360	0,090980	1,287640
475	0,142100	0,112600	1,041900
<b>480</b>	0,095640	0,139020	0,812950
485	0,057950	0,169300	0,616200
<b>490</b>	0,032010	0,208020	0,465180
495	0,014700	0,258600	0,353300
500	0,004900	0,323000	0,272000
505	0,002400	0,407300	0,212300
510	0,009300	0,503000	0,158200
515	0,029100	0,608200	0,111700
520	0,063270	0,710000	0,078250
525	0,109600	0,793200	0,057250
530	0,165500	0,862000	0,042160
535	0,225750	0,914850	0,029840
540	0,290400	0,954000	0,020300

512	0,017220	0,545080	0,139600
516	0,035934	0,628560	0,105010
520	0,063270	0,710000	0,078250
524	0,100334	0,776560	0,061450
528	0,143140	0,834480	0,048196
532	0,189600	0,883140	0,037232
536	0,238680	0,922680	0,027932
540	0,290400	0,954000	0,020300
544	0,345840	0,975040	0,014780
548	0,403950	0,989090	0,010610
552	0,464890	0,996970	0,007550
556	0,528540	0,999000	0,005380
560	0,594500	0,995000	0,003900
564	0,661620	0,981880	0,002980
568	0,728620	0,962640	0,002360
572	0,794260	0,937360	0,001980
576	0,857260	0,906320	0,001770
580	0,916300	0,870000	0,001650
584	0,966140	0,827040	0,001450
588	1,007220	0,780720	0,001220
592	1,038460	0,732160	0,001060
596	1,057800	0,682120	0,000960
600	1,062200	0,631000	0,000800
604	1,048920	0,579640	0,000640
608	1,019800	0,528520	0,000444
612	0,976920	0,478280	0,000300
616	0,921610	0,429160	0,000230
620	0,854450	0,381000	0,000190
624	0,772010	0,333000	0,000118
628	0,686000	0,287400	0,000070
632	0,602200	0,245800	0,000042
636	0,523100	0,208600	0,000028
640	0,447900	0,175000	0,000020
644	0,378220	0,145560	0,000012
648	0,314420	0,119480	0,000004
652	0,257580	0,096840	0,000000
656	0,207940	0,077480	0,000000
660	0,164900	0,061000	0,000000
664	0,129940	0,047864	0,000000
668	0,100920	0,037032	0,000000
672	0,077880	0,028480	0,000000
676	0,060234	0,021960	0,000000
680	0,046770	0,017000	0,000000
684	0,035674	0,012936	0,000000
688	0,026780	0,009694	0,000000
692	0,019956	0,007215	0,000000
696	0,014944	0,005399	0,000000
700	0,011359	0,004102	0,000000

545	0,359700	0,980300	0,013400
550	0,433450	0,994950	0,008750
555	0,512050	1,000000	0,005750
560	0,594500	0,995000	0,003900
565	0,678400	0,978600	0,002750
570	0,762100	0,952000	0,002100
575	0,842500	0,915400	0,001800
580	0,916300	0,870000	0,001650
585	0,978600	0,816300	0,001400
590	1,026300	0,757000	0,001100
595	1,056700	0,694900	0,001000
600	1,062200	0,631000	0,000800
605	1,045600	0,566800	0,000600
610	1,002600	0,503000	0,000340
615	0,938400	0,441200	0,000240
620	0,854450	0,381000	0,000190
625	0,751400	0,321000	0,000100
630	0,642400	0,265000	0,000050
635	0,541900	0,217000	0,000030
640	0,447900	0,175000	0,000020
645	0,360800	0,138200	0,000010
650	0,283500	0,107000	0,000000
655	0,218700	0,081600	0,000000
660	0,164900	0,061000	0,000000
665	0,121200	0,044580	0,000000
670	0,087400	0,032000	0,000000
675	0,063600	0,023200	0,000000
680	0,046770	0,017000	0,000000
685	0,032900	0,011920	0,000000
690	0,022700	0,008210	0,000000
695	0,015840	0,005723	0,000000
700	0,011359	0,004102	0,000000
705	0,008111	0,002929	0,000000
710	0,005790	0,002091	0,000000
715	0,004109	0,001484	0,000000
720	0,002899	0,001047	0,000000
725	0,002049	0,000740	0,000000
730	0,001440	0,000520	0,000000
735	0,001000	0,000361	0,000000
740	0,000690	0,000249	0,000000
745	0,000476	0,000172	0,000000
750	0,000332	0,000120	0,000000
755	0,000235	0,000085	0,000000
760	0,000166	0,000060	0,000000
765	0,000117	0,000042	0,000000
770	0,000083	0,000030	0,000000
775	0,000059	0,000021	0,000000
780	0,000042	0,000015	0,000000

704	0,008761	0,003164	0,000000
708	0,006718	0,002426	0,000000
712	0,005118	0,001848	0,000000
716	0,003867	0,001397	0,000000
720	0,002899	0,001047	0,000000
724	0,002219	0,000801	0,000000
728	0,001684	0,000608	0,000000
732	0,001264	0,000456	0,000000
736	0,000938	0,000339	0,000000
740	0,000690	0,000249	0,000000
744	0,000519	0,000187	0,000000
748	0,000390	0,000141	0,000000
752	0,000293	0,000106	0,000000
756	0,000221	0,000080	0,000000
760	0,000166	0,000060	0,000000
764	0,000127	0,000046	0,000000
768	0,000097	0,000035	0,000000
772	0,000073	0,000026	0,000000
776	0,000056	0,000020	0,000000
780	0,000042	0,000015	0,000000

Р	X	Y	Z
3,368E-07	1,84297E-09	5,25408E-11	8,68944E-09
2,6505E-07	2,18656E-09	6,25518E-11	1,03157E-08
2,2215E-07	3,05696E-09	8,67274E-11	1,44398E-08
1,582E-07	3,54735E-09	1,00489E-10	1,67781E-08
0,00000136	4,88621E-09	1,37523E-10	2,31407E-08
2,366E-07	1,3543E-08	3,74774E-10	6,42132E-08
0,00000229	1,96152E-08	5,41539E-10	9,31847E-08
3,969E-07	5,61725E-08	1,55902E-09	2,67542E-07
2,917E-07	6,6692E-08	1,86455E-09	3,1849E-07
9,862E-08	3,51008E-08	1,00356E-09	1,68112E-07
1,8025E-07	9,6888E-08	2,884E-09	4,65478E-07
0,00000283	2,24919E-07	7,51648E-09	1,08713E-06
4,3035E-07	4,41105E-07	1,70074E-08	2,14655E-06
5,394E-07	6,51034E-07	2,95505E-08	3,19442E-06
6,8625E-07	9,12592E-07	4,96076E-08	4,52316E-06
7,4575E-07	1,03892E-06	6,8609E-08	5,21148E-06
8,958E-07	1,24733E-06	1,01906E-07	6,36194E-06
1,3055E-06	1,78041E-06	1,81308E-07	9,27587E-06
1,3545E-06	1,78361E-06	2,27556E-07	9,54059E-06
1,3545E-06	1,69648E-06	2,73067E-07	9,36837E-06
1,5945E-06	1,85472E-06	3,8268E-07	1,06462E-05
1,6445E-06	1,70397E-06	4,67827E-07	1,02375E-05
0,000001886	1,642E-06	6,34813E-07	1,04396E-05
0,0000023	1,60132E-06	9,16578E-07	1,0942E-05
2,5315E-06	1,34481E-06	1,19369E-06	1,00866E-05
0,000002655	1,0157E-06	1,47639E-06	8,63353E-06
0,000003086	8,08384E-07	2,01508E-06	8,09211E-06
3,3985E-06	5,76195E-07	2,61728E-06	7,14484E-06
3,5715E-06	3,58379E-07	3,26081E-06	6,00623E-06
0,00003823	1,9482E-07	4,15147E-06	5,15402E-06
0,000003997	7,83412E-08	5,16412E-06	4,34874E-06
0,000004121	4,78036E-08	6,43601E-06	3,69637E-06
0,00000456	1,1929E-07	8,47649E-06	3,28028E-06
4,9635E-06	3,41886E-07	1,0822E-05	2,77162E-06
5,5215E-06	7,93638E-07	1,38824E-05	2,31925E-06
5,9055E-06	1,49456E-06	1,67716E-05	1,84842E-06

Tabela 16 – Cálculo dos valores finais de X, Y e Z com a vela de cera a uma distância de 0,97 m

0,000006326	2,53885E-06	1,96501E-05	1,55493E-06
6,8655E-06	3,93091E-06	2,29165E-05	1,32356E-06
0,00007278	5,51964E-06	2,571E-05	1,0839E-06
7,8785E-06	7,52176E-06	2,90773E-05	8,80249E-07
0,00008542	9,92239E-06	3,25963E-05	6,9361E-07
9,6575E-06	1,33598E-05	3,76658E-05	5,70951E-07
0,000009919	1,60271E-05	3,92431E-05	4,20962E-07
1,01595E-05	1,88922E-05	4,05149E-05	3,06817E-07
0,00001071	2,26427E-05	4,27972E-05	2,30479E-07
0,000011575	2,75254E-05	4,60685E-05	1,8057E-07
0,00001253	3,31604E-05	4,92118E-05	1,49358E-07
0,000013315	3,88063E-05	5,12702E-05	1,25694E-07
0,000014065	4,46851E-05	5,27359E-05	1,11395E-07
0,000014935	5,12127E-05	5,41436E-05	1,0574E-07
0,000015875	5,81851E-05	0,000055245	1,04775E-07
0,000017125	6,61806E-05	5,66522E-05	9,9325E-08
0,00001801	7,25601E-05	5,62431E-05	8,78888E-08
0,000019035	7,90683E-05	5,57467E-05	8,07084E-08
0,00001998	8,45394E-05	5,4515E-05	7,67232E-08
0,0000209	8,87999E-05	5,27516E-05	6,688E-08
0,00002178	9,13819E-05	5,04982E-05	5,57568E-08
0,00002311	9,42703E-05	4,88564E-05	4,10434E-08
0,00002443	9,54646E-05	4,67375E-05	2,9316E-08
0,00002519	9,28614E-05	4,32422E-05	2,31748E-08
0,000026415	9,02812E-05	4,02565E-05	2,00754E-08
0,00002774	8,56622E-05	3,69497E-05	1,30933E-08
0,000029035	7,9672E-05	3,33786E-05	8,1298E-09
0,000030565	7,3625E-05	3,00515E-05	5,13492E-09
0,000031665	6,62558E-05	2,64213E-05	3,54648E-09
0,00003297	5,90691E-05	0,000023079	2,6376E-09
0,000034425	5,20809E-05	2,00436E-05	1,6524E-09
0,0000353	4,43961E-05	1,68706E-05	5,648E-10
0,00003697	3,80909E-05	1,43207E-05	0
0,0000387	3,21891E-05	1,19939E-05	0
0,00004054	2,67402E-05	9,89176E-06	0
0,00004172	2,16844E-05	7,98754E-06	0
0,00004366	1,76247E-05	6,46727E-06	0
0,000045425	1,41508E-05	5,17482E-06	0
0,000047515	1,14481E-05	4,17372E-06	0
0,00004895	9,15757E-06	3,3286E-06	0

0.00005033	7 18180E 06	2 60428E 06	0
0,00003033	7,18189E-00	2,00428E-00	0
0,000051975	5,56756E-06	2,01538E-06	0
0,000053425	4,2646E-06	1,54189E-06	0
0,000055075	3,29212E-06	1,18936E-06	0
0,000058365	2,65187E-06	9,57653E-07	0
0,000060115	2,10657E-06	7,60719E-07	0
0,00006206	1,66778E-06	6,0228E-07	0
0,000063885	1,30775E-06	4,72289E-07	0
0,000065405	1,01168E-06	3,65378E-07	0
0,000067745	7,85571E-07	2,83716E-07	0
0,00006965	6,18213E-07	2,2327E-07	0
0,00007106	4,78546E-07	1,72818E-07	0
0,000075065	3,79529E-07	1,37039E-07	0
0,00007694	2,88679E-07	1,04208E-07	0
0,00007841	2,16412E-07	7,80964E-08	0
0,000079335	1,64636E-07	5,94695E-08	0
0,00008071	1,25778E-07	4,54559E-08	0
0,000083325	9,77236E-08	3,53298E-08	0
0,000087275	7,72209E-08	2,7928E-08	0
0,000089475	5,94114E-08	2,1474E-08	0
0,00009195	4,6637E-08	1,67717E-08	0
0,000094415	3,6482E-08	1,31426E-08	0
0,000096525	2,83397E-08	1,0193E-08	0
0,000097685	2,17251E-08	7,73665E-09	0
0,000100205	1,68344E-08	6,0123E-09	0
Soma	1,296152436	0,987525099	0,113559485

Р	X	Y	Z
3,368E-07	1,84297E-09	5,25408E-11	8,68944E-09
2,463E-07	2,03188E-09	5,81268E-11	9,586E-09
1,929E-07	2,65446E-09	7,53082E-11	1,25385E-08
3,903E-07	8,75177E-09	2,47919E-10	4,13937E-08
5,7685E-07	2,07251E-08	5,83311E-10	9,81522E-08
5,362E-07	3,06921E-08	8,49341E-10	1,45525E-07
1,044E-07	8,94249E-09	2,46885E-10	4,24824E-08
2,905E-07	4,11139E-08	1,14108E-09	1,9582E-07
3,179E-07	7,26821E-08	2,03202E-09	3,47096E-07
1,5465E-07	5,5043E-08	1,57372E-09	2,63623E-07
5,1465E-07	2,76635E-07	8,2344E-09	1,32903E-06
6,037E-07	4,79801E-07	1,60343E-08	2,31908E-06
6,3015E-07	6,45899E-07	2,49035E-08	3,14314E-06
7,828E-07	9,44808E-07	4,28849E-08	4,63588E-06
9,399E-07	1,2499E-06	6,79435E-08	6,19499E-06
9,2275E-07	1,2855E-06	8,4893E-08	6,4484E-06
9,285E-07	1,29286E-06	1,05626E-07	6,59418E-06
1,2415E-06	1,69313E-06	1,7242E-07	8,82114E-06
1,3745E-06	1,80994E-06	2,30916E-07	9,68146E-06
1,6095E-06	2,01587E-06	3,24475E-07	1,11321E-05
1,7605E-06	2,04781E-06	4,2252E-07	1,17545E-05
0,000001934	2,00393E-06	5,50184E-07	1,20397E-05
2,1895E-06	1,90623E-06	7,36968E-07	1,21195E-05
0,00002404	1,67372E-06	9,58023E-07	1,14367E-05
0,00002583	1,37217E-06	1,21798E-06	1,02918E-05
2,8565E-06	1,09278E-06	1,58844E-06	9,28877E-06
0,00003345	8,76229E-07	2,1842E-06	8,77126E-06
3,7805E-06	6,40961E-07	2,91147E-06	7,94794E-06
3,9625E-06	3,97613E-07	3,61779E-06	6,66378E-06
0,000004184	2,13217E-07	4,54349E-06	5,6407E-06
4,5155E-06	8,85038E-08	5,83403E-06	4,91286E-06
4,8875E-06	5,6695E-08	7,6331E-06	4,38389E-06
5,4275E-06	1,41983E-07	1,00891E-05	3,90433E-06
5,8685E-06	4,04222E-07	1,27952E-05	3,27697E-06
6,3935E-06	9,18976E-07	1,60748E-05	2,68553E-06
6,8415E-06	1,73145E-06	1,94299E-05	2,14139E-06

Tabela 17 – Cálculo dos valores finais de X, Y e Z com a vela de cera a uma distância 1,14 m

0,00000725	2,90969E-06	2,25202E-05	1,78205E-06
7,7995E-06	4,46568E-06	2,60341E-05	1,50362E-06
0,00008404	6,37359E-06	2,96876E-05	1,25159E-06
0,00008989	8,58198E-06	3,31759E-05	1,00432E-06
0,000009649	1,12083E-05	3,68206E-05	7,83499E-07
0,00001061	1,46774E-05	4,13807E-05	6,27263E-07
0,000011405	1,84282E-05	4,51223E-05	4,84028E-07
0,000011865	2,20637E-05	4,73162E-05	3,58323E-07
0,000012625	2,66913E-05	5,04495E-05	2,7169E-07
0,00001321	3,14134E-05	5,25758E-05	2,06076E-07
0,00001394	3,68919E-05	5,47496E-05	1,66165E-07
0,000015005	4,37318E-05	5,77777E-05	1,41647E-07
0,000016085	5,11027E-05	6,03097E-05	1,27393E-07
0,000017105	5,86537E-05	6,20104E-05	1,21103E-07
0,00001797	6,58636E-05	6,25356E-05	1,18602E-07
0,000018985	7,33687E-05	6,28054E-05	1,10113E-07
0,00001994	8,03359E-05	6,22702E-05	9,73072E-08
0,00002117	8,79368E-05	6,19993E-05	8,97608E-08
0,00002209	9,34672E-05	6,02721E-05	8,48256E-08
0,000023145	9,83385E-05	5,8418E-05	7,4064E-08
0,00002421	0,000101577	5,61323E-05	6,19776E-08
0,00002587	0,000105529	5,46912E-05	4,59451E-08
0,00002716	0,000106133	5,19603E-05	3,2592E-08
0,000028465	0,000104935	4,88642E-05	2,61878E-08
0,00002979	0,000101816	4,54E-05	2,26404E-08
0,000031675	9,78137E-05	4,21911E-05	1,49506E-08
0,00003242	8,89605E-05	3,727E-05	9,0776E-09
0,00003383	8,14897E-05	3,32617E-05	5,68344E-09
0,00003528	7,38199E-05	2,94376E-05	3,95136E-09
0,00003664	6,56442E-05	0,000025648	2,9312E-09
0,00003811	5,76559E-05	2,21892E-05	1,82928E-09
0,000040045	5,03638E-05	1,91383E-05	6,4072E-10
0,00004124	4,24904E-05	1,59747E-05	0
0,000043145	3,58863E-05	1,33715E-05	0
0,000044455	2,93225E-05	1,0847E-05	0
0,000046625	2,42338E-05	8,92664E-06	0
0,000048535	1,95926E-05	7,18939E-06	0
0,000049935	1,55558E-05	5,6886E-06	0
0,00005183	1,24877E-05	4,55275E-06	0

0,000053765	1,00584E-05	3,65602E-06	0
0,00005567	7,94389E-06	2,88059E-06	0
0,00005736	6,1444E-06	2,22419E-06	0
0,00005924	4,72877E-06	1,70971E-06	0
0,000061285	3,66332E-06	1,32346E-06	0
0,000064505	2,93085E-06	1,0584E-06	0
0,000066385	2,32629E-06	8,40062E-07	0
0,000068115	1,8305E-06	6,61042E-07	0
0,000070165	1,43631E-06	5,18716E-07	0
0,000072705	1,1246E-06	4,06159E-07	0
0,0000752	8,72019E-07	3,14938E-07	0
0,000077765	6,90242E-07	2,49283E-07	0
0,00007893	5,31546E-07	1,91958E-07	0
0,00008237	4,16463E-07	1,50375E-07	0
0,000084005	3,15187E-07	1,13776E-07	0
0,000087045	2,40244E-07	8,66968E-08	0
0,00008962	1,85979E-07	6,71792E-08	0
0,000092625	1,44347E-07	5,21664E-08	0
0,000095245	1,11703E-07	4,03839E-08	0
0,000096265	8,51753E-08	3,08048E-08	0
0,00010064	6,6825E-08	2,41536E-08	0
0,0001011	5,12779E-08	1,84406E-08	0
0,00010185	3,93548E-08	1,41775E-08	0
0,00010645	3,12537E-08	1,12411E-08	0
0,0001073	2,38635E-08	8,49816E-09	0
0,00010925	1,8354E-08	6,555E-09	0
Soma	1,451598193	1,112809768	0,12864702
Р	X	Y	Z
-------------	-------------	------------------	-----------------
	1.84297E-09	- 5.25408E-11	 8.68944E-09
5.6555E-07	4.66556E-09	1.3347E-10	2.20112E-08
1,929E-07	2,65446E-09	7,53082E-11	1,25385E-08
2,162E-07	4,8479E-09	1,3733E-10	2,29293E-08
0,000000136	4,88621E-09	1,37523E-10	2,31407E-08
1,776E-07	1,01658E-08	2,81318E-10	4,82006E-08
1,649E-07	1,41247E-08	3,89956E-10	6,71011E-08
0,00000231	3,2693E-08	9,07368E-10	1,55712E-07
1,938E-07	4,43089E-08	1,23877E-09	2,11599E-07
4,3125E-07	1,53491E-07	4,3884E-09	7,35126E-07
4,628E-07	2,48764E-07	7,4048E-09	1,19513E-06
7,987E-07	6,34781E-07	2,12135E-08	3,06816E-06
8,2665E-07	8,4731E-07	3,26692E-08	4,12326E-06
1,00005E-06	1,20702E-06	5,47867E-08	5,92247E-06
0,000001301	1,7301E-06	9,40467E-08	8,57505E-06
1,2895E-06	1,79643E-06	1,18634E-07	9,01134E-06
0,000001293	1,80039E-06	1,47092E-07	9,18284E-06
1,2845E-06	1,75177E-06	1,78391E-07	9,12666E-06
1,8665E-06	2,45781E-06	3,13572E-07	1,31469E-05
0,000002173	2,72164E-06	4,38077E-07	1,50295E-05
2,3125E-06	2,6899E-06	0,000000555	1,54401E-05
0,000002358	2,44327E-06	6,70804E-07	1,46792E-05
2,5615E-06	2,2301E-06	8,6218E-07	1,41787E-05
2,7795E-06	1,93515E-06	1,10766E-06	1,32231E-05
2,9685E-06	1,57696E-06	1,39975E-06	1,18278E-05
0,000003156	1,20736E-06	1,75499E-06	1,02627E-05
3,6625E-06	9,59399E-07	2,39152E-06	9,60381E-06
0,00003931	6,66477E-07	3,02737E-06	8,26435E-06
4,0555E-06	4,06945E-07	3,7027E-06	6,82018E-06
0,000004353	2,21829E-07	4,72701E-06	5,86854E-06
4,7545E-06	9,31882E-08	6,14281E-06	5,1729E-06
0,000005333	6,18628E-08	8,32887E-06	4,78349E-06
5,7155E-06	1,49517E-07	1,06244E-05	4,1115E-06
0,00006038	4,15897E-07	1,31648E-05	3,37162E-06
0,0000666	9,57282E-07	1,67448E-05	2,79747E-06
7,3815E-06	1,86811E-06	2,09635E-05	2,31041E-06

## Tabela 18 – Cálculo dos valores finais de X, Y e Z com a vela de parafina a uma distância de 0,97 m

7,6515E-06	3,07082E-06	2,37674E-05	1,88074E-06
0,00007846	4,49231E-06	2,61893E-05	1,51258E-06
0,00008369	6,34705E-06	2,9564E-05	1,24638E-06
0,000009188	8,77197E-06	3,39103E-05	1,02656E-06
0,000010094	1,17252E-05	3,85187E-05	8,19633E-07
0,000010955	1,51547E-05	4,27263E-05	6,4766E-07
0,00001156	1,86786E-05	4,57355E-05	4,90606E-07
0,000012075	2,24542E-05	4,81537E-05	3,64665E-07
0,000012715	2,68815E-05	5,08091E-05	2,73627E-07
0,000013385	3,18295E-05	5,32723E-05	2,08806E-07
0,00001393	3,68655E-05	5,47104E-05	1,66046E-07
0,00001492	4,3484E-05	5,74504E-05	1,40845E-07
0,000015705	4,98954E-05	5,8885E-05	1,24384E-07
0,000016465	5,64591E-05	5,96902E-05	1,16572E-07
0,000017255	6,3243E-05	6,00474E-05	1,13883E-07
0,00001825	7,05282E-05	6,03739E-05	1,0585E-07
0,000019345	7,79387E-05	6,04121E-05	9,44036E-08
0,00002064	8,57353E-05	6,04471E-05	8,75136E-08
0,00002118	8,96168E-05	5,77892E-05	8,13312E-08
0,000022315	9,4812E-05	5,63231E-05	7,1408E-08
0,000023285	9,76964E-05	5,39877E-05	5,96096E-08
0,000024455	9,97568E-05	5,16998E-05	4,34321E-08
0,0000259	0,000101209	4,95498E-05	3,108E-08
0,0000271	9,99025E-05	4,65209E-05	2,4932E-08
0,00002807	9,59376E-05	4,27787E-05	2,13332E-08
0,000029225	9,0248E-05	3,89277E-05	1,37942E-08
0,0000306	8,39664E-05	3,51778E-05	8,568E-09
0,000031915	7,68769E-05	3,13788E-05	5,36172E-09
0,000032765	6,85575E-05	2,73391E-05	3,66968E-09
0,00003406	6,10219E-05	0,000023842	2,7248E-09
0,000035635	5,39115E-05	2,07481E-05	1,71048E-09
0,00003745	4,71001E-05	1,78981E-05	5,992E-10
0,000038795	3,99713E-05	1,50276E-05	0
0,000039955	3,3233E-05	1,23829E-05	0
0,000041335	2,72646E-05	1,00857E-05	0
0,00004215	2,19079E-05	8,06987E-06	0
0,000043955	1,77438E-05	6,51097E-06	0
0,00004569	1,42333E-05	5,205E-06	0
0,00004704	1,13336E-05	4,13199E-06	0
0,00004843	9,06028E-06	3,29324E-06	0

0,000050435	7,19687E-06	2,60971E-06	0
0,00005203	5,57345E-06	2,01752E-06	0
0,00005357	4,27617E-06	1,54607E-06	0
0,000055505	3,31782E-06	1,19864E-06	0
0,00005725	2,60121E-06	9,39358E-07	0
0,000058845	2,06207E-06	7,44648E-07	0
0,00006023	1,6186E-06	5,8452E-07	0
0,000062585	1,28114E-06	4,62678E-07	0
0,000064815	1,00256E-06	3,62083E-07	0
0,00006662	7,72526E-07	2,79005E-07	0
0,000067925	6,02902E-07	2,1774E-07	0
0,00007014	4,72351E-07	1,7058E-07	0
0,00007201	3,64083E-07	1,31461E-07	0
0,000074605	2,79918E-07	1,01045E-07	0
0,000076275	2,10519E-07	7,59699E-08	0
0,000077835	1,61523E-07	5,83451E-08	0
0,00007847	1,22288E-07	4,41943E-08	0
0,000081595	9,56946E-08	3,45963E-08	0
0,00008232	7,28367E-08	2,63424E-08	0
0,000084755	5,62773E-08	2,03412E-08	0
0,000086575	4,39108E-08	1,57913E-08	0
0,0000901	3,48146E-08	1,25419E-08	0
0,00009085	2,66736E-08	9,59376E-09	0
0,00009222	2,05097E-08	7,30382E-09	0
0,000092935	1,56131E-08	5,5761E-09	0
Soma	1,389598678	1,087738059	0,151758878

Р	X	Y	Z
3,368E-07	1,84297E-09	5,25408E-11	8,68944E-09
2,836E-07	2,33959E-09	6,69296E-11	1,10377E-08
1,929E-07	2,65446E-09	7,53082E-11	1,25385E-08
1,582E-07	3,54735E-09	1,00489E-10	1,67781E-08
2,916E-07	1,04766E-08	2,94866E-10	4,96163E-08
2,9755E-07	1,70318E-08	4,71319E-10	8,07551E-08
2,0525E-07	1,75809E-08	4,85375E-10	8,35203E-08
3,7875E-07	5,36037E-08	1,48773E-09	2,55308E-07
2,3785E-07	5,43801E-08	1,52034E-09	2,59694E-07
5,6735E-07	2,01931E-07	5,77335E-09	9,67128E-07
3,7335E-07	2,00683E-07	5,9736E-09	9,64139E-07
5,1895E-07	4,12445E-07	1,37833E-08	1,99352E-06
7,1055E-07	7,28308E-07	2,80809E-08	3,54417E-06
7,7505E-07	9,35454E-07	4,24603E-08	4,58998E-06
9,174E-07	1,21998E-06	6,6317E-08	6,04669E-06
1,0338E-06	1,44021E-06	9,51096E-08	7,22444E-06
0,00001066	1,48432E-06	1,21268E-07	7,5707E-06
0,00001324	1,80564E-06	1,83877E-07	9,40732E-06
0,00001335	1,75793E-06	2,2428E-07	9,40324E-06
1,6995E-06	2,12859E-06	3,42619E-07	1,17546E-05
0,00001679	1,95301E-06	4,0296E-07	1,12103E-05
2,0155E-06	2,08838E-06	5,73369E-07	1,25471E-05
0,00002059	1,79261E-06	6,93043E-07	1,13972E-05
0,00002413	1,67999E-06	9,61609E-07	1,14795E-05
0,00002694	1,43114E-06	1,27032E-06	1,07341E-05
0,00002757	1,05472E-06	1,53311E-06	8,96521E-06
0,00003047	7,98168E-07	1,98962E-06	7,98984E-06
0,00003245	5,5017E-07	2,49907E-06	6,82213E-06
3,7715E-06	3,78447E-07	3,44341E-06	6,34258E-06
4,0465E-06	2,0621E-07	4,39418E-06	5,45533E-06
4,3255E-06	8,47798E-08	5,58855E-06	4,70614E-06
4,6645E-06	5,41082E-08	7,28483E-06	4,18387E-06
0,000004948	1,2944E-07	9,19774E-06	3,55939E-06
5,2825E-06	3,63859E-07	1,15175E-05	2,94975E-06
5,8745E-06	8,44377E-07	1,47699E-05	2,46752E-06
0,00006349	1,6068E-06	1,80312E-05	1,98724E-06

Tabela 19 – Cálculo dos valores finais de X, Y e Z com a vela de parafina a uma distância de 1,14 m

6,7065E-06	2,69156E-06	2,0832E-05	1,64846E-06
0,00007173	4,10697E-06	2,39429E-05	1,38284E-06
0,00007693	5,83437E-06	2,7176E-05	1,1457E-06
0,00008287	7,91176E-06	3,0585E-05	9,2589E-07
0,00008847	1,02767E-05	3,37602E-05	7,18376E-07
0,000009661	1,33646E-05	3,76794E-05	5,71158E-07
0,00001033	1,66912E-05	4,08692E-05	4,38405E-07
0,00001076	2,00089E-05	4,29096E-05	3,24952E-07
0,00001141	2,41226E-05	4,55944E-05	2,45543E-07
0,00001193	2,83695E-05	4,74814E-05	1,86108E-07
0,000012655	3,34912E-05	4,97028E-05	1,50848E-07
0,000013385	3,90103E-05	5,15397E-05	1,26354E-07
0,000014055	4,46533E-05	5,26984E-05	1,11316E-07
0,000014955	5,12813E-05	5,42161E-05	1,05881E-07
0,00001591	5,83133E-05	5,53668E-05	1,05006E-07
0,000016695	6,45188E-05	5,52297E-05	9,6831E-08
0,00001774	7,14723E-05	5,53999E-05	8,65712E-08
0,000018465	7,67007E-05	5,40773E-05	7,82916E-08
0,00001925	8,14506E-05	5,25232E-05	7,392E-08
0,000020335	8,63993E-05	5,13255E-05	6,5072E-08
0,00002156	9,04589E-05	4,99882E-05	5,51936E-08
0,00002269	9,2557E-05	4,79685E-05	4,02974E-08
0,00002353	9,19477E-05	4,50157E-05	2,8236E-08
0,00002461	9,07233E-05	4,22465E-05	2,26412E-08
0,00002556	8,7359E-05	3,89534E-05	1,94256E-08
0,000026675	8,23735E-05	3,55311E-05	1,25906E-08
0,000027755	7,61597E-05	3,19071E-05	7,7714E-09
0,0000291	7,00961E-05	2,86111E-05	4,8888E-09
0,00003011	6,30022E-05	2,51238E-05	3,37232E-09
0,0000312	5,58979E-05	0,00002184	2,496E-09
0,000032915	4,97964E-05	1,91644E-05	1,57992E-09
0,000034065	4,28429E-05	1,62803E-05	5,4504E-10
0,000035205	3,62724E-05	1,3637E-05	0
0,00003649	3,03509E-05	1,1309E-05	0
0,00003816	2,51703E-05	9,31104E-06	0
0,000039505	2,05331E-05	7,56347E-06	0
0,00004097	1,65388E-05	6,0688E-06	0
0,000042215	1,31508E-05	4,80913E-06	0
0,00004393	1,05843E-05	3,85881E-06	0
0,00004528	8,47098E-06	3,07904E-06	0

0,000046905	6,69316E-06	2,42705E-06	0
0,000048535	5,19907E-06	1,88199E-06	0
0,00005019	4,00637E-06	1,44852E-06	0
0,00005163	3,08619E-06	1,11496E-06	0
0,00005315	2,41492E-06	8,72085E-07	0
0,00005525	1,93609E-06	6,99156E-07	0
0,000057025	1,53247E-06	5,53416E-07	0
0,000059185	1,21154E-06	4,37543E-07	0
0,000060585	9,37129E-07	3,38452E-07	0
0,000062135	7,20517E-07	2,60221E-07	0
0,000063985	5,67931E-07	2,0511E-07	0
0,00006614	4,45413E-07	1,60852E-07	0
0,000068185	3,44743E-07	1,24479E-07	0
0,00006941	2,60426E-07	9,40089E-08	0
0,00007158	1,97561E-07	7,12937E-08	0
0,000073555	1,52641E-07	5,51368E-08	0
0,000076515	1,19241E-07	4,30932E-08	0
0,00007726	9,06105E-08	3,27582E-08	0
0,00007959	7,04212E-08	2,54688E-08	0
0,000080985	5,3774E-08	1,94364E-08	0
0,000083645	4,24247E-08	1,52568E-08	0
0,000083895	3,2417E-08	1,16782E-08	0
0,00008611	2,52819E-08	9,09322E-09	0
0,000088405	1,96613E-08	7,00168E-09	0
0,000091635	1,53947E-08	5,4981E-09	0
Soma	1,265343661	0,984458501	0,126920245

## A nexo C – Resultados com o fotómetro

Tabela de conv	versão Candela
EV	Candela
-2	0,06
-1,5	0,08
-1	0,12
-0,5	0,16
0	0,23
0,5	0,33
1	0,46
1,5	0,66
2	0,93
2,5	1,3
3	1,9
3,5	2,6
4	3,7
4,5	5,3
5	7,4
5,5	11
6	15

## Tabela 20 – Tabela de Conversão Candela [Kiguchi, 2006]

(Kiguchi, 2006)

Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média de EV	Conversão EV → Candela
0,10 m	3,2	3,2	3,2	3,3	3,2	3,2	3,4	3,2	3,3	3,3	3,2	2,2
0,20 m	2,3	2,3	2,4	2,4	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,3	2,4	1,2
0,30 m	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	0,71
0,40 m	1	1	1	1	1	1,1	1	1	1	1	1,0	0,46
0,50 m	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,34
0,60 m	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,25
0,70 m	-0,3	-0,3	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	0,20
0,80 m	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,7	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	0,15
0,90 m	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	0,13
1,0 m	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,2	-1,1	-1,1	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	0,11
1,10 m	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,4	-1,3	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	0,088
1,20 m	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	0,076
1,30 m	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,8	0,068
1,40 m	-1,9	-1,9	-2	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	0,064
1,50 m	erro	erro	-2	erro	-2	-2	-2	erro	erro	erro	-2,0	0,06

Tabela 21 – Medições com o fotómetro após 30 minutos com a vela de cera

Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média de EV	Conversão EV → Candela
0,10 m	3,3	3,7	3,4	3,6	3,5	3,6	3,5	3,6	3,6	3,5	3,6	2,7
0,20 m	2,5	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,4	2,4	2,4	2,5	1,24
0,30 m	1,7	1,6	1,7	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	0,77
0,40 m	1,1	1,1	1,1	1,1	1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,50
0,50 m	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,36
0,60 m	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,27
0,70 m	-0,3	-0,2	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,20
0,80 m	-0,5	-0,5	-0,5	-0,6	-0,5	-0,6	-0,5	-0,5	-0,5	-0,6	-0,5	0,16
0,90 m	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-1	-1	-0,9	-1	-0,9	0,13
1,0 m	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	0,104
1,10 m	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	0,08
1,20 m	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,7	0,072
1,30 m	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	0,068
1,40 m	-2	-2	-2	-2	-1,9	-2	-2	-2	-2	-2	-2,0	0,06

Tabela 22 – Medições com o fotómetro após 1h com a vela de cera

Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média de EV	Conversão EV → Candela
0,10 m	5,2	5,1	5,2	5,2	5,3	5,2	5,2	5,2	5,1	5,2	5,2	8,8
0,20 m	3,6	3,5	3,5	3,5	3,5	3,4	3,4	3,3	3,3	3,3	3,5	2,5
0,30 m	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,1	2,1	2,2	2,3	2,2	2,2	1,1
0,40 m	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	0,62
0,50 m	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6	0,36
0,60 m	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,27
0,70 m	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	0,17
0,80 m	-0,7	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	0,14
0,90 m	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1,0	0,12
1,0 m	-1,4	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	0,08
1,10 m	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	0,072
1,20 m	-1,9	-1,9	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9	0,064

Tabela 23 – Medições com o fotómetro após 1h30 com a vela de cera

Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média de EV	Conversão EV → Candela
0,10 m	5,5	5,5	5,5	5,5	5,4	5,5	5,4	5,5	5,4	5,4	5,5	11
0,20 m	3,6	3,6	3,5	3,5	3,6	3,6	3,3	3,3	3,3	3,4	3,5	2,6
0,30 m	2,7	2,6	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,6	2,7	1,5
0,40 m	1,7	1,7	1,7	1,8	1,7	1,7	1,8	1,7	1,7	1,8	1,7	0,77
0,50 m	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,43
0,60 m	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,38
0,70 m	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,27
0,80 m	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,20
0,90 m	-0,5	-0,6	-0,6	-0,5	-0,6	-0,6	-0,6	-0,5	-0,6	-0,5	-0,6	0,15
1,0 m	-0,7	-0,8	-0,7	-0,7	-0,8	-0,7	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,8	0,14
1,10 m	-1,1	-1,1	-1,2	-1,3	-1,4	-1,4	-1,4	-1,5	-1,4	-1,5	-1,4	0,09
1,20 m	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	0,074
1,30 m	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-2	-1,9	-1,9	0,064

Tabela 24 – Medições com o fotómetro após 2h com a vela de cera

Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média de EV	Conversão EV → Candela
0,10 m	5	5	4,9	4,9	4,9	4,8	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	7,0
0,20 m	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,4	3,3	3,3	3,4	3,4	3,3	2,3
0,30 m	2,5	2,6	2,5	2,6	2,6	2,6	2,5	2,6	2,5	2,6	2,6	1,4
0,40 m	1,8	1,8	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5	1,6	1,5	1,6	0,71
0,50 m	1	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,42
0,60 m	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,29
0,70 m	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0,0	0,23
0,80 m	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,5	0,16
0,90 m	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,7	-0,7	-0,8	-0,8	-0,9	-0,7	0,14
1,0 m	-1,1	-1,2	-1,2	-1,1	-1,2	-1,2	-1,1	-1,2	-1,2	-1,1	-1,2	0,104
1,10 m	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	0,088
1,20 m	-1,5	-1,6	-1,6	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7	-1,6	-1,6	0,076
1,30 m	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	0,068
1,40 m	erro	-2	-2	-2	erro	-2	-2	-2	-2	-2	-2,0	0,06

Tabela 25 – Medições com o fotómetro após 2h30 com a vela de cera

Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média de EV	Conversão EV → Candela
0,10 m	4,4	4,6	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	5,3
0,20 m	3,1	3	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	2,0
0,30 m	2	2	1,9	2	1,9	1,9	1,9	2	2	2	2,0	0,93
0,40 m	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	0,62
0,50 m	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,36
0,60 m	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,25
0,70 m	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	0,17
0,80 m	-0,7	-0,7	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	0,14
0,90 m	-1	-1	-0,9	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1,0	0,12
1,0 m	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	0,112
1,10 m	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	0,09
1,20 m	-1,6	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,5	-1,6	0,078
1,30 m	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,8	0,068
1,40 m	erro	erro	erro	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2,0	0,06

Tabela 26 – Medições com o fotómetro após 3h com a vela de cera

Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média de EV	Conversão EV → Candela
0,10 m	4,3	4,3	4,3	4,4	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,7
0,20 m	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,8	2,9	2,9	2,8	2,9	2,9	1,8
0,30 m	2	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8	1,9	0,88
0,40 m	1	0,9	0,9	0,9	1	1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0	0,46
0,50 m	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,38
0,60 m	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,29
0,70 m	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,4	0,17
0,80 m	-0,6	-0,6	-0,7	-0,7	-0,8	-0,7	-0,7	-0,6	-0,7	-0,7	-0,7	0,14
0,90 m	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,2	-1,1	-1,1	-1,2	-1,1	0,11
1,0 m	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	0,088
1,10 m	-1,7	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,6	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	0,076
1,20 m	-1,9	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	0,068

Tabela 27 – Medições com o fotómetro após 3h30 com a vela de cera

Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média de EV	Conversão EV → Candela
0,10 m	3,8	3,7	3,7	3,7	3,6	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,0
0,20 m	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,7	2,6	2,6	2,6	1,4
0,30 m	1,8	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,7	1,8	1,7	1,8	1,7	0,77
0,40 m	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,41
0,50 m	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,33
0,60 m	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,22
0,70 m	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	0,16
0,80 m	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,8	-0,8	-0,7	-0,8	0,14
0,90 m	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,2	-1,1	-1	-1,1	-1,1	-1,1	0,11
1,0 m	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,4	-1,3	-1,3	0,096
1,10 m	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7	-1,6	-1,6	0,076
1,20 m	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	0,068
1,30 m	-2	-2	-2	-2	erro	-2	-2	-2	-2	-2	-2,0	0,06

Tabela 28 – Medições com o fotómetro após 4h com a vela de cera

Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média de EV	Conversão EV → Candela
0,10 m	3,2	3,1	3,1	3,1	3	3	3	3	3	3	3,0	1,9
0,20 m	2,4	2,5	2,4	2,4	2,4	2,3	2,4	2,4	2,3	2,4	2,4	1,23
0,30 m	1,4	1,5	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,5	0,66
0,40 m	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,43
0,50 m	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,25
0,60 m	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	0	0	0	0	-0,1	0,22
0,70 m	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,4	-0,4	-0,5	-0,4	0,17
0,80 m	-0,9	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,8	0,14
0,90 m	-1	-1	-1	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-1	-0,9	-0,9	-0,9	0,13
1,0 m	-1	-1,1	-1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	0,11
1,10 m	-1,7	-1,7	-1,8	-1,7	-1,8	-1,8	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,75	0,070
1,20 m	-1,9	-1,8	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	0,068
1,30 m	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9	-1,7	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,75	0,070
1,40 m	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9	-1,8	0,068

Tabela 29 – Medições com o fotómetro após 30 minutos com a vela de parafina

Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média de EV	Conversão EV → Candela
0,10 m	4	4	3,9	4	4	4	4	4	4,1	4,1	4,0	3,7
0,20 m	2,9	2,9	2,9	2,9	3	3	3	2,9	3	3	2,95	1,96
0,30 m	2	2,1	2,1	2	2,1	2,1	2	2	2	2	2,0	0,93
0,40 m	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1	1,1	0,50
0,50 m	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,36
0,60 m	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,29
0,70 m	-0,2	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,20
0,80 m	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	0,16
0,90 m	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,7	-0,7	0,14
1,0 m	-0,8	-0,8	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	0,136
1,10 m	-1,2	-1,2	-1,2	-1,3	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,3	-1,2	0,10
1,20 m	-1,4	-1,3	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,4	0,09
1,30 m	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	0,08
1,40 m	-1,6	-1,6	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,7	-1,8	-1,6	0,076
1,50 m	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2,0	0,06

Tabela 30 – Medições com o fotómetro após 1h com a vela de parafina

Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média de EV	Conversão EV → Candela
0,10 m	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,4	4,3	4,4	4,5	4,4	4,5	5,3
0,20 m	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3,0	1,9
0,30 m	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	1,0
0,40 m	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,66
0,50 m	0,9	0,9	1	0,9	0,9	0,8	0,5	0,4	0,5	0,4	0,9	0,42
0,60 m	0,1	0,1	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,25
0,70 m	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	0,21
0,80 m	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4	0,17
0,90 m	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	0,15
1,0 m	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,8	0,14
1,10 m	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	0,13
1,20 m	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,1	-1,2	0,10
1,30 m	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	0,076
1,40 m	-1,8	-1,7	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	0,072
1,50 m	-1,9	-1,8	-1,7	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,6	-1,7	0,072
1,60 m	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	-1,9	-1,8	-1,7	-1,8	-1,9	-1,8	0,068

Tabela 31 – Medições com o fotómetro após 1h30 com a vela de parafina

Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média de EV	Conversão EV → Candela
0,10 m	4	4	4,1	4	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,7
0,20 m	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3,0	1,9
0,30 m	2,1	2,2	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	1,1
0,40 m	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5	1,6	1,5	1,6	1,5	1,6	1,6	0,71
0,50 m	0,9	1	0,9	0,9	1	0,9	1	0,9	1	1	1,0	0,47
0,60 m	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,33
0,70 m	0,1	0,1	0	0	0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,22
0,80 m	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	0,17
0,90 m	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,7	0,14
1,0 m	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	0,136
1,10 m	-0,9	-0,9	-0,9	-1	-1,2	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	0,10
1,20 m	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,5	-1,4	-1,3	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	0,09
1,30 m	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,6	-1,5	0,08
1,40 m	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,7	0,072
1,50 m	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	0,064
1,60 m	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2,0	0,06
1,70 m	-2	-2	-2	-2	-2	erro	-2	erro	-2	-2	-2,0	0,06

Tabela 32 – Medições com o fotómetro após 2h com a vela de parafina

Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média de EV	Conversão EV → Candela
0,10 m	3,8	3,8	3,7	3,8	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,5
0,20 m	2,9	3	2,9	3	3	3	3	3	3	3	3,0	1,9
0,30 m	2,1	2,2	2,1	2,2	2,1	2,2	2,1	2,2	2,1	2,2	2,2	1,04
0,40 m	1,5	1,5	1,4	1,5	1,5	1,4	1,5	1,4	1,3	1,3	1,5	0,69
0,50 m	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,38
0,60 m	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,29
0,70 m	0	0	0	-0,1	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	0,19
0,80 m	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	0,15
0,90 m	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	0,14
1,0 m	-0,9	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	0,136
1,10 m	-0,9	-0,9	-1	-0,9	-1	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	0,128
1,20 m	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	0,11
1,30 m	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,3	-1,3	-1,3	0,10
1,40 m	-1,5	-1,4	-1,5	-1,4	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	0,09
1,50 m	-1,8	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	0,068
1,60 m	-2	-2	-1,9	-2	-2	-2	-1,9	-2	-2	-1,9	-2,0	0,06
1,70 m	-2	-2	erro	-2	-2	erro	-2	erro	-2	-2	-2,0	0,06

Tabela 33 – Medições com o fotómetro após 2h30 com a vela de parafina

Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média de EV	Conversão EV → Candela
0,10 m	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,2	4,3	4,3	4,3	4,7
0,20 m	3,3	3,3	3,3	3,3	3,2	3,3	3,3	3,2	3,3	3,2	3,3	2,3
0,30 m	2,5	2,5	2,4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,6	2,5	2,5	2,5	1,3
0,40 m	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	0,88
0,50 m	1,3	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	0,62
0,60 m	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,0	0,46
0,70 m	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,38
0,80 m	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,29
0,90 m	0,1	0,1	0,1	0	0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	0,22
1,0 m	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	0,156
1,10 m	-1	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-1	-1	-1	-1	-1,1	-1,0	0,12
1,20 m	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,1	-1,2	-1,1	-1,2	-1,2	-1,1	-1,2	0,104
1,30 m	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,3	-1,2	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	0,096
1,40 m	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,5	0,08
1,50 m	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,6	-1,6	-1,6	0,076
1,60 m	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	0,072
1,70 m	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-2	erro	erro	erro	erro	erro	-1,9	0,064

Tabela 34 – Medições com o fotómetro após 3h com a vela de parafina

## nexo D – Formato de ficheiro padrão IES

Para se criar um ficheiro de dados fotométrico no formato IES utiliza-se o formato de ficheiro padrão IES LM-63-1991.

Este anexo apenas descreve as informações necessárias para o 3ds Max. Para visualizar uma descrição completa do formato de ficheiro padrão IES, basta consultar o formato de ficheiro padrão IES realizado pelo Comité de computação IES estando disponível no site: <u>http://www.iesna.org</u>.

Os dados fotométricos são escritos num ficheiro ASCII com a extensão .ies, em que cada linha tem de ter no máximo 132 caracteres. Cada campo desse ficheiro deve iniciar sempre numa nova linha e deve aparecer na seguinte sequência:

- 1. IESNA91
- 2. [Teste] o número do relatório de teste de seus dados
- 3. [Fabricante] o nome do fabricante da luminária
- 4. TILT = NONE
- 5. 1
- 6. Os lumens iniciais avaliados para a luz utilizada no teste ou -1, se fotometria absoluta é usado e os valores de intensidade não dependem da classificação de diferentes luzes.
- 7. Um fator de multiplicação para todos os valores de intensidade luminosa no ficheiro. Isto torna possível dimensionar facilmente todos os valores de intensidade luminosa no ficheiro quando o dispositivo de medição funciona em unidades incomuns, por exemplo, quando se obter os valores fotométricos de uma lista utilizando uma régua em um diagrama goniométrico. Normalmente, o fator de multiplicação é 1.

- 8. O número de ângulos verticais na web fotométrica.
- 9. O número de ângulos horizontais na web fotométrica.
- 10.1
- 11. O tipo de unidade usada para medir as dimensões da abertura luminosa, é
  1 ou 2 para os metros.
- 12. A largura, comprimento e altura da abertura luminosa. Atualmente, Lightscape ignora essas dimensões, porque se pode associar uma distribuição de intensidade luminosa com qualquer das entidades de luminárias geométricas suportadas pelo Lightscape. É normalmente administrado como 0.0 0.0 0.0
- 13. 1.0 1.0 0.0
- 14. O conjunto dos ângulos verticais, são listados por ordem crescente. Se a distribuição se encontra completamente no hemisfério inferior, os ângulos primeiro e último devem ser de 0° e 90°, respetivamente. Quando a distribuição se encontra completamente no hemisfério superior, os ângulos primeiro e último devem ser de 90° e 180°, respetivamente. Caso contrário, eles devem ser de 0° e 180°, respetivamente.
- 15. O conjunto dos ângulos horizontais, são listados por ordem crescente, em que o primeiro ângulo deve ser de 0° e o último ângulo determina o grau de simetria lateral, mostrado pela distribuição de intensidade. Se for 0°, a distribuição é axialmente simétrica. Se for de 90°, a distribuição é simétrica em cada quadrante. Quando é 180°, a distribuição é simétrica em torno de um plano vertical. E se for maior que 180° e menor ou igual a 360°, a distribuição não exibe nenhuma simetria lateral. Logo, todos os outros valores são inválidos.
- 16. O conjunto de valores de intensidade luminosa. Primeiro todos os valores de intensidade luminosa correspondente ao primeiro ângulo horizontal são listados, começando com o valor correspondente para o menor ângulo vertical e movendo-se para cima no plano vertical associado. Em seguida, os valores de intensidade luminosa correspondente ao plano vertical através do segundo ângulo horizontal são listados, e assim por diante até ao último ângulo horizontal. Cada fatia vertical de valores deve começar em uma nova linha. Longas filas podem ser quebradas entre os valores

conforme necessário, seguindo as instruções dadas anteriormente (Autodesk, 2012).

A seguir apresenta-se um exemplo de um ficheiro de dados fotométrico, onde é apresentado o ficheiro de dados no formato fotométrico IES, que é utilizado na simulação com dados reais:

- 1. IESNA91
- 2. Teste
- 3. Fabricante
- 4. TILT=NONE
- 5. 1
- 6. -1
- 7. 1
- 8. 7
- 9. 1
- 10.1
- 11.2
- 12.0.00.000
- 13. 1.0 1.0 0.0
- 14. 0.0 30.0 60.0 90.0 120.0 150.0 180.0
- 15.0.0
- 16. 3.3 3.7 4.1 4.5 4.7 4.9 5.3