



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR  
Ciências da Saúde

# Desenvolvimento de um sistema para medição de visibilidade

## Medição do coeficiente de extinção de partículas atmosféricas

Paula Cristina Ambrósio

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Optometria em Ciências da Visão**  
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Professora Doutora Sandra Mogo

Covilhã, Junho de 2011

# Agradecimentos

Foram muitas as coisas surpreendentes que aprendi ao fazer este trabalho, e que vou sempre recordar. Claro que para terminar esta dissertação contei com o carinho, a atenção e dedicação de muitas pessoas que me rodeiam, muitos nem se aperceberam do seu contributo, mas a todos eles um muito obrigado.

Quero começar por agradecer à minha Professora Orientadora da dissertação, a Professora Doutora Sandra Mogo que tanto me apoiou e motivou desde o primeiro dia deste trabalho, sempre cheia de paciência e de tempo para me esclarecer e orientar a qualquer hora do dia. Não consigo colocar em palavras tudo o que aprendi com ela e o quanto lhe estarei para sempre grata. Um enorme obrigada por tudo.

Quero também agradecer ao meu marido pelo acompanhamento e ajuda que me prestou desde o início. Desde o apoio psicológico que muito conta e ainda o apoio técnico/informático uma vez que foi ele quem construiu o programa informático que me facilitou em grande escala o trabalho.

Para terminar, um grande obrigado à minha Família que está sempre ao meu lado.

Paula Ambrósio

# Resumo

A presente dissertação versa sobre a interacção das partículas atmosféricas com a radiação luminosa. A radiação luminosa ao percorrer um determinado trajecto vai interagir com as partículas que se encontram espalhadas no meio atmosférico, fazendo com que a energia luminosa final seja diferente da inicial. Este fenómeno denomina-se extinção da luz e resulta da soma de dois outros fenómenos, a absorção da luz pelas partículas e a difusão (mudança de trajecto ao incidir nas partículas) da luz. Este facto é importante na medida em que a extinção desta luz ao longo da trajectória vai fazer com que a imagem que chega até ao nosso olho tenha menor radiação luminosa, prejudicando na maioria das vezes a visibilidade.

O tema de maior destaque que vai ser tratado nesta dissertação será a medição do coeficiente de extinção num determinado local. O principal objectivo é construir um sistema de medição do coeficiente de extinção de modo a obter os dados com a maior precisão possível, permitindo analisá-los e compará-los com estudos anteriores.

Para se poderem cumprir os objectivos o trabalho foi organizado e estruturado da seguinte forma, no capítulo 1 fez-se uma introdução ao tema da dissertação, um resumo das técnicas de medição do coeficiente de extinção encontradas em trabalhos anteriores e terminou-se com uma comparação entre essas mesmas técnicas. No capítulo 2 fez-se a descrição do método que seleccionámos para medição do coeficiente de extinção, bem como cuidados especiais e limitações do mesmo. Por fim, no capítulo 3 efectuou-se o registo dos resultados e o seu tratamento estatístico, terminando com a comparação entre os dados obtidos e a bibliografia.

De salientar que os resultados mostraram uma ligeira tendência para o aumento do coeficiente de extinção ao longo do tempo do estudo. Os valores do coeficiente de extinção enquadram-se no seguinte intervalo  $[30,06 - 396,62] \text{ Mm}^{-1}$  com uma média de  $83,73 \text{ Mm}^{-1}$  e os valores de visibilidade apresentaram valores entre  $[7,56 - 99,81] \text{ km}$  com uma média de  $45,57 \text{ km}$ .

Deixaram-se ainda alguns comentários e sugestões para um próximo trabalho que possa vir a ser desenvolvido, com vista a melhorar a técnica e os resultados.

Palavras-chave: visibilidade; coeficiente de extinção; contraste; aerossóis; instrumentação.

# Abstract

The present dissertation examines the interaction of atmospheric particles with luminous radiation. While luminous radiation follows a given route, it will interact with particles in the atmosphere causing the final luminous energy to differ from the original one. This phenomenon is called light extinction and is the result of two other phenomena, the absorption and the scattering of light. This fact is important in the sense that extinguishing this light through the route will make the image, arriving at our eyes, have less luminous radiation which, most of the times, damages visibility.

The most prominent topic, addressed in this dissertation, is the measurement of the extinction coefficient at a given location. The main aim is to build a measuring system for the extinction coefficient in order to obtain data, as accurately as possible, that will enable its analysis and comparison to previous studies.

So that the objectives of this project were fulfilled, it was organized and structured as follows; in Chapter 1 there is an introduction to the topic of the dissertation, a summary of the techniques used for measuring the extinction coefficient found in previous studies and it ends with a comparison between these techniques. Chapter 2 describes the method selected for measuring the extinction coefficient, as well as constraints and special care to be taken. Finally, in Chapter 3, result registering and statistical treatment was carried out, ending with a comparison between data and bibliography.

Note that the results showed a slight tendency to increase the extinction coefficient over the study period. The extinction coefficient values fall within the following range [30.06 to 396.62]  $\text{Mm}^{-1}$  with an average of 83.73  $\text{Mm}^{-1}$  and the visibility values varied from [7.56 to 99.81] km with an average of 45.57 km.

Some comments and suggestions were left for a future study that may be developed to improve the technique and the results.

Keywords: visibility; extinction coefficient; contrast; aerosols; instruments.

# Índice Geral

Agradecimentos .....	i
Resumo .....	ii
Abstract.....	iii
Índice Geral .....	iv
Lista de figuras .....	v
Lista de tabelas .....	vi
Lista de acrónimos.....	vii
Lista de símbolos.....	viii
Introdução.....	1
Capítulo 1 Visão através da atmosfera .....	3
1. Visibilidade e extinção da luz na atmosfera .....	3
2. Sensibilidade espectral do olho humano .....	6
3. Técnicas existentes para medição da extinção .....	9
4. Comparação entre as técnicas existentes.....	15
Capítulo 2 Medição da visibilidade.....	17
1. Descrição do método utilizado .....	17
2. Definição de parâmetros do sistema de medição. Cuidados especiais.....	20
3. Limitações do método utilizado.....	21
Capítulo 3 Registo dos resultados .....	24
1. Dados obtidos no procedimento experimental .....	24
2. Tratamento estatístico de erros e repetibilidade.....	29
3. Comparação com a bibliografia .....	30
4. Relação entre os dados obtidos neste estudo e os dados encontrados na bibliografia.....	37
Comentários finais e linhas futuras.....	38
Bibliografia.....	40

# Lista de figuras

Figura 1.1 - Esquema óptico do olho. ....	6
Figura 1.2 - Sensibilidade espectral do olho humano. ....	6
Figura 1.3 - Escala de cinzentos.....	7
Figura 1.4 - Função de sensibilidade ao contraste. ....	8
Figura 1.5 - (a) Carta de Pelli-Robson para medição da SC; (b) cartas de baixo e alto contraste; (c) curva de sensibilidade ao contraste para um observador normal. ....	8
Figura 1.6 - Esquema óptico de um telefotómetro. ....	10
Figura 1.7 - Esquema de medição usando a polarização da luz. ....	11
Figura 1.8 - Esquema do transmissómetro.....	12
Figura 1.9 - Esquema óptico da célula de White ou célula de extinção. ....	12
Figura 1.10 - Obtenção de imagens via câmaras de vídeo, para cálculo do coeficiente de extinção. ....	13
Figura 2.1 - Esquema de montagem. ....	17
Figura 2.2 - Exemplo de fotografia utilizada no trabalho (fotografia parcial). ....	18
Figura 2.3 - Exemplo do funcionamento dos canais RGB. ....	19
Figura 2.4 - Exemplo de imagem com incremento de ruído. ....	21
Figura 2.5 - Explicação geométrica para a lei do co-seno à quarta.....	22
Figura 2.6 - Amostra com incremento de vinhetagem. Efeito exagerado para melhor percepção. ....	23
Figura 3.1 - Imagem obtida a partir do Google Earth com as respectivas localizações. ....	24
Figura 3.2 - Evolução temporal do coeficiente de extinção e da visibilidade. ....	25
Figura 3.3 - Amostra obtida no dia 19 de Abril de 2011. ....	26
Figura 3.4 - Amostra obtida no dia 18 de Abril de 2011. ....	27
Figura 3.5 - Variação espectral do coeficiente de extinção em todos os dias de campanha...	29
Figura 3.6 - Valor médio do coeficiente de extinção em cada canal espectral.....	29
Figura 3.7 - Exemplo da mesma amostra obtida com as 2 máquinas fotográficas. ....	30
Figura 3.8 - Evolução do coeficiente de extinção ao longo do tempo.....	33
Figura 3.9 - Valor do coeficiente de extinção quando medido em zonas rurais, zonas urbanas e em laboratório. Os números entre parêntesis representam as referências dos estudos onde foram obtidos os dados. ....	35
Figura 3.10 - Dados obtidos para o coeficiente de extinção pelos diversos métodos. ....	35

# Lista de tabelas

Tabela 1-1 - Descrição das técnicas existentes para medição do coeficiente de extinção. ....	14
Tabela 3-1 - Dados estatísticos das amostras obtidas. ....	26
Tabela 3-2 - Dados estatísticos separados por dias úteis e fins-de-semana. ....	28
Tabela 3-3 - Dados obtidos nos estudos recolhidos. ....	31
Tabela 3-4 - Experiências laboratoriais - partículas geradas em laboratório. ....	33
Tabela 3-5 - Comparação estatística. ....	37

# Lista de acrónimos

c.d.o	Comprimento de onda
CIE	<i>Commission Internationale de l'Éclairage</i>
FSC	Função de sensibilidade ao contraste
MOR	<i>Meteorological Optical Range</i>
SC	Sensibilidade ao contraste
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>
CE	Carbono elementar
HR	Humidade relativa
MO	Matéria orgânica
PG	Partículas grossas
UTC	<i>Universal Time Coordinated</i>

# Lista de símbolos

$C$	Contraste
$C_0$	Constante de calibração
$C_M$	Contraste de Michelson
$C_W$	Contraste de Weber
$C_x$	Contraste entre o objecto e o fundo na Lei de <i>Koschmieder</i>
$E_v$	Iluminância (ou excitância)
$I_{\perp}$ e $I_{//}$	Intensidade das componentes polarizadas da luz
$I_{ar}$	Intensidade da luz num dia com partículas em suspensão no ar
$i_h, i_1$ e $i_0$	Sinais de corrente medidos por um fotodetector
$I_{partículas}$	Intensidade da luz num meio com partículas em suspensão
$I_v$	Intensidade luminosa
$k$	Índice de absorção (parte imaginária do índice de refração)
$L_0$	Luminância na posição inicial
$L_f$	Luminância do fundo
$L_{max}$	Luminância máxima
$L_{min}$	Luminância mínima
$L_o$	Luminância do objecto
$L_v$	Luminância
$L_x$	Luminância depois da luz atravessar a distância $x$
$m$	Índice de refração complexo
$n$	Índice de refração (parte real)
$r$	Raio de uma partícula esférica
$SC$	Sensibilidade ao contraste
$\mathcal{V}$	Visibilidade
$V$	Volume
$x$	Distância entre o fotodetector e o objecto
$\lambda$	Comprimento de onda
$\sigma_a$	Coefficiente de absorção
$\sigma_e$	Coefficiente de extinção
$\sigma_s$	Coefficiente de difusão
$\phi_v$	Fluxo luminoso
$\alpha$	Parâmetro de tamanho

# Introdução

A visão é dos sentidos que seguramente para nós humanos contribui com maior percentagem de entradas sensoriais. É através dos olhos que captamos as imagens do nosso mundo. Construimos a nossa vida com base nas imagens que guardamos do que nos rodeia, e daí ser importante o ver bem e adquirir imagens de qualidade. Apesar de ser apenas um dos cinco sentidos que possuímos, nenhum dos restantes, audição, olfacto, paladar ou tacto nos transmite tanta informação. A visão permite contemplar os objectos do mundo real, portanto, podemos tocar um objecto, sentir o seu sabor, o seu cheiro ou ouvir o seu som, mas se não o virmos a informação que possuímos sobre ele fica muito limitada. Os nossos olhos captam os raios luminosos que provêm dos objectos que nos rodeiam, por sua vez esses raios luminosos são encaminhados até ao fundo do olho onde se encontra a retina composta por células sensoriais nervosas (cones e bastonetes), a retina tem a função de converter os raios luminosos em impulsos nervosos. A partir daqui, esses impulsos são conduzidos através do nervo óptico até ao nosso cérebro, onde são processados e convertidos numa imagem semelhante à realidade, que o cérebro cria à nossa frente e no local aproximado onde se encontram os objectos. Desta forma a percepção que temos dos objectos é susceptível de ser afectada por processos psicológicos e julgamentos pessoais.

No entanto, para além da nossa influência, existe também uma influência física resultante da interacção entre a luz e as partículas presentes na atmosfera que pode deteriorar a qualidade da imagem que finalmente observamos. As imagens que obtemos não são só influenciadas pela nossa própria visão, mas também pela paisagem em si e pelos diversos factores que provocam alteração nessa imagem que nós vemos. Mais especificamente, se estivermos confortavelmente sentados num jardim, decerto que teremos uma qualidade na imagem superior à que teríamos por exemplo no centro de uma cidade abafada pelos fumos saídos dos tubos de escape dos carros ou de fábricas. Estamos a falar de um conceito extremamente importante para nós, o conceito de visibilidade. Termos uma boa visibilidade é essencial, pois isso significa que conseguimos ver os objectos com clareza e nitidez, parâmetros estes que são fulcrais em certas tarefas que realizamos no dia-a-dia, como por exemplo conduzir, onde uma má visibilidade pode realmente ser um factor determinante. Este parâmetro está intimamente ligado à beleza das paisagens que observamos, assim, apreciamos todo o contexto, a forma, o contraste, passando pelas diferentes cores que nos oferecem os objectos envolventes (1).

Essa perda na qualidade das imagens que nós vemos, acontece porque existem partículas e gases que por sua vez vão interagir com os raios luminosos que provêm do Sol. Estas partículas podem ter diversas origens, grande parte são *naturais*, como por exemplo as

areias, que por acção do vento se elevam acabando por interferir negativamente na clareza com que poderíamos ver a imagem. Outras são produzidas pelo homem— *antropogénicas* — como as partículas resultantes dos incêndios ou do fumo dos carros. Este fenómeno dá-se constantemente e vai provocar alterações na qualidade da imagem que vemos.

Naturalmente, sem darmos conta disso, os raios luminosos ao incidirem nessas partículas, são desviados do seu trajecto inicial ou ainda podem ser absorvidos pela própria partícula, não prosseguindo o seu percurso. Logo, nem toda a luz que devia chegar até nós, consegue cumprir o seu trajecto, o que prejudica a nitidez com que percebemos a imagem. Este fenómeno denomina-se *extinção* da luz. Assim a extinção é a soma da energia que é absorvida pelas partículas suspensas na atmosfera e da energia que ao incidir nas partículas muda de direcção.

Este fenómeno condiciona a nossa visão das coisas e portanto conseguir medi-lo é importante para nós. Por este motivo desde a década de 70 têm sido desenvolvidas várias técnicas que permitem fazer essa medição, algumas que fazem a medição experimental da extinção, outras obtêm-na por via teórica. Neste trabalho, vamos propor uma forma de medir a extinção usando uma câmara fotográfica comum, que nos permitirá captar fotografias a um determinado cenário e fazer a comparação da extinção da luz em cada uma delas.

# Capítulo 1

## Visão através da atmosfera

### 1. Visibilidade e extinção da luz na atmosfera

Toda a luz interage com a atmosfera, o que vai ter influência na nossa visão. Por este motivo, medir a quantidade de energia na região visível do espectro electromagnético, é fundamental para entender o impacto que esta tem nas imagens que nós vemos. Assim existem duas ciências responsáveis pelo estudo das diferentes medições da energia luminosa, a radiometria e a fotometria (2). A radiometria mede a energia radiante, ou seja, a energia contida na radiação electromagnética em todos os comprimentos de onda (c.d.o.), a fotometria tem em consideração apenas uma faixa específica do espectro de luz com os c.d.o. entre 380 nm e 830 nm, faixa a que é sensível o olho humano. Neste trabalho vamos centrar-nos na zona do visível e portanto utilizaremos as grandezas fotométricas. A grandeza fundamental da fotometria é o *fluxo luminoso*,  $\phi_v$ , que vai determinar a taxa temporal, ou a taxa de transferência da energia luminosa  $\dot{\phi}_v = dQ/dt$  obtida em lúmen [lm]. Segue-se a *iluminância* (ou *excitância*) que representa o fluxo recebido (ou emitido) por uma dada superfície,  $E_v = d\phi/dA$ , expresso em lux [lux]. Igualmente importante é a *intensidade luminosa*, pois permite quantificar o fluxo luminoso por unidade de ângulo sólido,  $I_v = d\phi/d\Omega$ , obtido em candela [cd] e por fim temos a *luminância* que é o fluxo luminoso por unidade de área normal e por unidade de ângulo sólido:

$$L_v = \frac{d^2\phi_v}{d\Omega dA \cos\theta} , \quad (1)$$

expresso em nit [nit].

As condições de luminosidade do meio envolvente vão interferir directamente com a eficiência do olho humano, uma vez que o olho é mais ou menos sensível consoante o c.d.o. e a intensidade da luz que o atinge.

Os factores que vão determinar o limiar da visibilidade são para além da nossa acuidade visual<sup>1</sup>, os factores que provocam a atenuação / extinção da luz. A atenuação da radiação solar ao atravessar uma determinada distância na atmosfera é descrita pela lei de Lambert - Beer:

$$L_x = L_0 e^{-\sigma_e x} , \quad (2)$$

<sup>1</sup> A acuidade visual é a capacidade de discriminar um detalhe de um objecto.

onde  $L_0$  é a luminância na posição inicial,  $L_x$  é a luminância depois de a luz atravessar a distância  $x$  e  $\sigma_e$  é o *coeficiente de extinção* da luz (3). O coeficiente de extinção da luz é um parâmetro que permite quantificar a atenuação da luz na atmosfera e é obtido por:

$$\sigma_e = \sigma_a + \sigma_s, \quad (3)$$

onde  $\sigma_a$  é o *coeficiente de absorção* da luz (quantifica a luz que é absorvida pela partícula num processo em que a energia luminosa é convertida em energia térmica) e  $\sigma_s$  é o *coeficiente de difusão* da luz (quantifica a luz que ao incidir na partícula vê a sua direcção de propagação ser alterada).

Precisamente, porque desde cedo se percebeu o impacto que a visibilidade tem nas nossas vidas, uma organização Americana – *World Meteorological Organization (WMO)* – ligada essencialmente à meteorologia e conseqüentemente também às variações provocadas na visibilidade, definiu este conceito como sendo: “a maior distância possível a que se consegue ver e reconhecer um objecto negro de dimensões razoáveis, quando observado tendo o céu como horizonte” (4,5,6).

E para quantificar a visibilidade, seja em medições reais na atmosfera ou em laboratório, a mesma Organização em 1957 definiu o conceito de *Meteorological Optical Range (MOR)* como sendo “a distância que será necessária percorrer na atmosfera para reduzir o fluxo luminoso de um feixe colimado proveniente de uma lâmpada incandescente, com uma temperatura de cor de 2700 K, para 5% do seu valor original”. O fluxo luminoso deve ser avaliado tomando em conta a função de sensibilidade espectral definida pela *Commission Internationale de l'Éclairage (CIE)*<sup>2</sup> (7). Deste modo, passamos a ter um conceito bem definido que pode ser utilizado consistentemente de forma a obtermos valores aplicáveis à realidade.

Assim, a visibilidade descreve a capacidade que um indivíduo tem em conseguir distinguir um determinado objecto do seu fundo, e inerente a este facto está o contraste que existe entre eles, pois ao se dar o caso de ambos (objecto e fundo) terem a mesma luminância, então o contraste entre eles é nulo e isso torna-os impossíveis de distinguir.

Existem várias definições de contraste, que são usadas em diferentes situações. O *contraste de Michelson*,  $C_M$ , aplica-se frequentemente quando temos um padrão formado por

---

<sup>2</sup> Desde 1931 a CIE estabeleceu parâmetros para a medição e classificação da cor. Determinou também a função de sensibilidade espectral do olho humano com o seu pico máximo em 555 nm.

detalhes claros e escuros que ocupam fracções de área semelhantes. O contraste de Michelson é expresso por:

$$C_M = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max} + L_{\min}}, \quad (4)$$

onde  $L_{\max}$  e  $L_{\min}$  representam a luminância máxima e a luminância mínima, respectivamente, em relação aos detalhes claros e escuros que estão a ser analisados.

O *contraste de Weber*,  $C_W$ , aplica-se quando temos um objecto pequeno situado no centro de um fundo proporcionalmente grande e uniforme. Neste caso, para um determinado objecto situado num campo homogéneo temos:

$$C_W = \frac{L_o - L_f}{L_f}, \quad (5)$$

onde  $L_o$  é a luminância do objecto e  $L_f$  é a luminância do fundo. Aplicando a equação (5) em (2), obtém-se a *lei de Koschmieder*:

$$C_x = C_0 e^{-\sigma_e x}, \quad (6)$$

onde  $C_x$  é o contraste entre o objecto e o fundo e  $C_0$  é uma constante de calibração que depende da natureza do objecto e do fundo, bem como das condições de iluminação.

Desta forma, se observarmos um objecto negro contra o horizonte e considerarmos que o limiar de contraste detectável por um observador normal é de 5%<sup>3</sup>, a equação (6) reduz-se a:

$$0,05 = e^{-\sigma_e x}, \quad (7)$$

a *visibilidade*,  $\mathcal{V}^z$ , pode então ser obtida pela fórmula de Middleton (8):

$$\mathcal{V}^z = \frac{3,0}{\sigma_e}, \quad (8)$$

onde o factor 3,0 corresponde ao limiar de contraste de 5% aplicado à fórmula (3) (5,6,7,8,9,10). Esta fórmula foi previamente apresentada por Koschmieder (8) com uma forma ligeiramente diferente, considerando um contraste de 0,02:

$$\mathcal{V}^z = \frac{|\ln 0,02|}{\sigma_e} = \frac{3,9}{\sigma_e} \quad (9)$$

---

<sup>3</sup> No âmbito da meteorologia utiliza-se 5%, enquanto que na aviação utiliza-se um valor mais restrito de 3% (5).

## 2. Sensibilidade espectral do olho humano

O nosso olho é um sistema de captação dos raios luminosos, formado por um obturador por onde entram os raios luminosos, um sistema de focagem e um fotoreceptor – a retina – que recebe esses raios e os transforma em impulsos nervosos. Na retina existem dois tipos de fotoreceptores, os cones e os bastonetes, extremamente bem localizados e especializados. Podemos observar a sua distribuição na figura 1.1, com os cones maioritariamente na zona central da retina e associados à visão fotópica (diurna) e por outro lado, os bastonetes localizados à volta dessa zona central e distribuídos até à periferia da retina, estando associados à visão escotópica (nocturna).

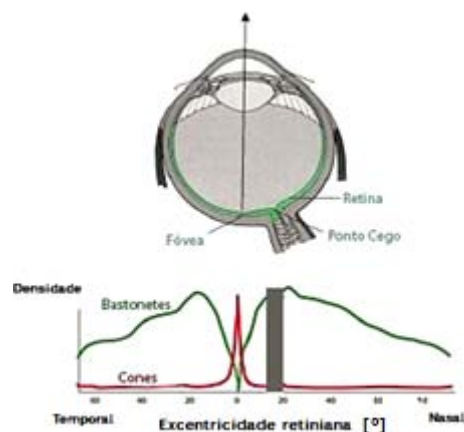


Figura 1.1 - Esquema óptico do olho (adaptado de (11)).

São os cones que nos vão permitir ver o mundo a cores, pois cada um dos três tipos de cones que possuímos, L, M e S, apresentam fotopigmentos com picos de sensibilidade espectral máxima no vermelho, verde e azul, respectivamente.

Funcionando os três tipos de cones conjuntamente, o pico de sensibilidade espectral máxima de um ser humano normal surge no c.d.o. de 555 nm, como podemos verificar pela linha contínua da figura 1.2, que corresponde a uma cor verde-amarelada. Isto significa, por exemplo, que uma fonte de luz amarelada é mais facilmente perceptível pois somos mais sensíveis nessa zona espectral.

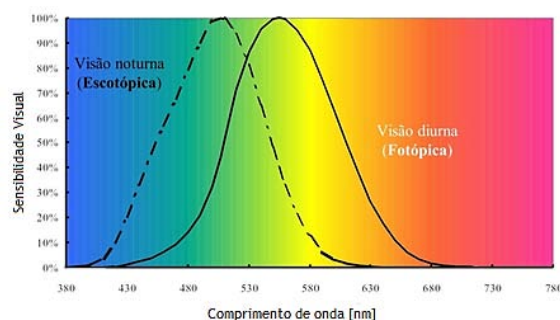


Figura 1.2 - Sensibilidade espectral do olho humano (adaptado de (12)).

No que diz respeito aos bastonetes, vão ser essenciais para a visão periférica uma vez que a sua distribuição é escassa na zona central da retina, e a sua concentração é máxima a cerca de 15° a partir da direcção do olhar, tal como podemos constatar através da figura 1.1. Só através dos bastonetes a nossa percepção da cor seria muito limitada. Para estas células o pico de sensibilidade máxima ronda os 507 nm correspondente ao tom azul-esverdeado, como podemos comprovar pela representação da linha a tracejado da figura 1.2.

Para além do exposto, o nosso olho tem uma condicionante, não consegue ver as cores de forma absoluta (13). Ou seja, tomando como exemplo a figura 1.3, temos vários cinzentos que só foram possíveis de ordenar por comparação, pois se os víssemos isoladamente não conseguiríamos determinar o seu brilho exacto. A esta habilidade que os seres humanos têm de comparar a luminância dos objectos com a luminância dos objectos adjacentes, em vez de detectar luminâncias absolutas de cada objecto, denomina-se constância do contraste simultâneo. Este fenómeno pode ocorrer para a luminância (constância do contraste da luminância), para a cor (constância de cor), para a saturação (contraste simultâneo de saturação) ou ainda para uma combinação de todos os anteriores.



Figura 1.3 - Escala de cinzentos (adaptado da referência (14)).

A aptidão dos seres humanos em perceber uma paisagem deve-se em grande parte ao contraste presente nos detalhes, como podemos mais uma vez verificar através da figura 1.3, só conseguimos detectar o alfinete porque este têm uma cor branca que contrasta com o seu fundo. Assim, o contraste é um parâmetro de extrema importância na avaliação da visão e mede a quantidade relativa de luz que provém de diferentes partes de um objecto. Quanto maior for o contraste entre um objecto e o seu fundo, mais facilmente percebemos o objecto em causa e é através desta proporcionalidade que avaliamos a capacidade visual que o individuo tem.

Um individuo apresenta grande sensibilidade ao contraste quando lhe é suficiente um baixo contraste para conseguir detectar um determinado padrão, figura 1.4, ou seja, a SC varia na proporção inversa do contraste, temos:

$$SC = \frac{1}{c} . \quad (10)$$

Para determinar a sensibilidade que um indivíduo tem ao contraste (SC), são realizados testes que apresentam uma determinada frequência espacial expressa em ciclos por grau e com vários contrastes para cada uma dessas frequências.

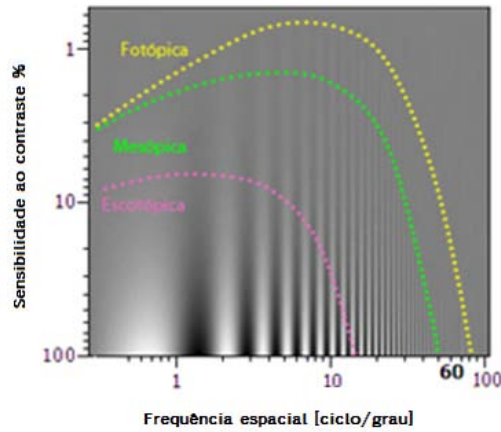


Figura 1.4 - Função de sensibilidade ao contraste (adaptado de (15)).

Os valores obtidos no teste são representados graficamente através da função de sensibilidade ao contraste (FSC) como o apresentado na figura 1.4 e na figura 1.5 (16,17,18). Cada ponto da FSC é obtido quando o observador acertar 50% das apresentações que lhe são feitas, para uma dada frequência espacial e contraste. Clinicamente, utilizam-se cartas de Pelli-Robson e de baixo contraste para obtermos vários pontos da FSC, representadas na figura 1.5.

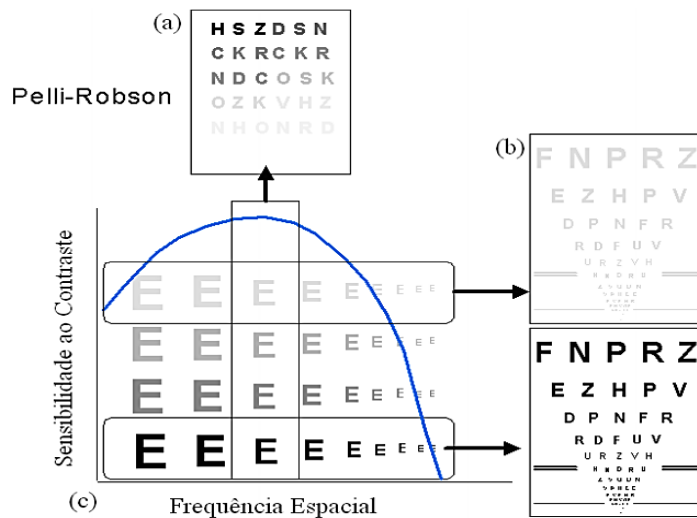


Figura 1.5 - (a) Carta de Pelli-Robson para medição da SC; (b) cartas de baixo e alto contraste; (c) curva de sensibilidade ao contraste para um observador normal (adaptado de (17)).

De salientar ainda que, o ponto onde a curva corta o eixo das abcissas (contraste 100%) representa a acuidade visual que o individuo tem (16).

### 3. Técnicas existentes para medição da extinção

A visibilidade é algo que condiciona a nossa vivência, de tal modo que uma redução da visibilidade pode ser impeditiva de certa actividade, como por exemplo conduzir. Ao conduzirmos numa auto-estrada, é fundamental conseguirmos ver bem a estrada e os sinais de trânsito (limites de velocidade, aproximação da saída, entre outras) para que a condução seja o mais segura possível. Por exemplo, num dia típico de primavera/verão esperamos ter uma óptima visibilidade, o mesmo não ocorre se a viagem for feita num dia chuvoso de inverno, onde a chuva e o nevoeiro vão provocar um decréscimo na visibilidade da estrada e dos sinais provocando assim uma maior probabilidade de se darem acidentes. E é por este motivo que se começou a dar importância ao que acontece à luz de forma a influenciar a visibilidade. O que acontece de facto é que nem toda a luz chega até nós devido à sua atenuação na atmosfera (extinção) e surgiu então a necessidade de quantificar este parâmetro (19,20).

Entre as técnicas utilizadas para medir extinção podemos distinguir aquelas que obtêm o valor de forma teórica e aquelas que o obtêm de forma experimental. Assim sendo, temos nos métodos experimentais, o telefotómetro, a obtenção do coeficiente de extinção através da polarização da luz, o transmissómetro, a medição e soma da difusão com a absorção e ainda a medição através de câmaras de vídeo. Por outro lado, podemos obter valores de extinção através de cálculos matemáticos utilizando a teoria de Mie ou de forma empírica, a partir do conhecimento dos componentes químicos da atmosfera. Segue-se uma descrição de cada uma das técnicas apresentadas, começando pelas técnicas experimentais e seguindo-se as teóricas.

Em 1981 H. Horvath concebeu um instrumento denominado telefotómetro, que mede o coeficiente de extinção através da diferença de contraste entre um objecto e o fundo, onde o objecto está colocado a uma distância que permita ser visto com clareza contra o seu fundo. Este aparelho consiste na utilização de um telescópio astronómico de tipo reflector que capta a imagem de um objecto e do seu fundo. A imagem formada pelo telescópio é focada num fotodetector e o sinal gerado pelo fotodetector é proporcional à luminância da imagem. Para obter o coeficiente de extinção, mede-se a luminância do objecto a uma distância tão curta que a atenuação da luz na atmosfera possa ser desprezada, depois repete-se a medição de luminância do objecto a uma distância  $x$ . O coeficiente de extinção é então calculado a partir de:

$$\sigma_e = \frac{\ln [(i_h - i_1)/(i_h - i_0)]}{x}, \quad (11)$$

onde  $i_h$ ,  $i_1$  e  $i_0$  representam os sinais de corrente medidos pelo fotodetector relativamente ao fundo, ao objecto quando medido à distância  $x$  e ao objecto quando medido a uma distância próxima (desprezando a atenuação da luz na atmosfera). Na figura 1.6 apresenta-se um esquema óptico deste instrumento. Desde o desenvolvimento da técnica que esta tem sido utilizada por diversos autores (20,21,22,23,24,25,26,27).

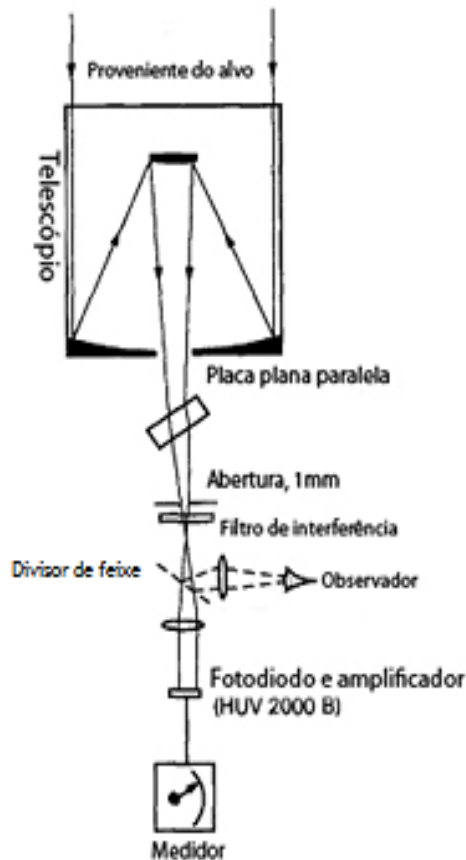


Figura 1.6 - Esquema óptico de um telefotómetro (adaptado de (22)).

Em 1982 R. Clark, pensou em medir a visibilidade através da polarização da luz, comparando as propriedades de polarização da luz que sofre difusão devido a partículas suspensas na atmosfera e as propriedades de polarização da luz que sofre difusão de Rayleigh devido às moléculas do ar. A difusão de Rayleigh, devida às moléculas no ar, é responsável pela aparência azul do céu uma vez que a luz de c.d.o. mais baixos (zona azul do espectro) é muito mais difundida do que a luz de c.d.o. mais altos (zona vermelha do espectro). Por outro lado, a difusão devida a partículas suspensas na atmosfera, embora também mais forte na região de baixos c.d.o., não apresenta uma diferença tão grande em relação à difusão sofrida em altos c.d.o., o que faz aumentar a aparência avermelhada do céu quando existem maiores concentrações de partículas suspensas. O instrumento proposto por Clark consiste num telefotómetro modificado ao qual foi adicionado um polarizador linear rotativo e que mede a intensidade de duas componentes da luz polarizadas e perpendiculares entre si, ao longo do espectro visível. O valor de visibilidade é obtido através do contraste entre as intensidades

das duas componentes linearmente polarizadas da luz difundida pelo ar (céu como fundo num dia limpo) e as intensidades das mesmas componentes num dia com partículas em suspensão na atmosfera:

$$C = \frac{I_{\text{partículas}} - I_{\text{ar}}}{I_{\text{ar}}}, \quad (12)$$

onde  $I_{\text{partículas}} = I_{\perp \text{ partículas}} + I_{\parallel \text{ partículas}}$  e  $I_{\text{ar}} = I_{\perp \text{ ar}} + I_{\parallel \text{ ar}}$ . Na figura 1.7, as duas componentes polarizadas da luz,  $I_{\perp}$  e  $I_{\parallel}$ , estão alinhadas respectivamente, perpendicular e paralelamente a um plano que contém o ponto de observação,  $O$ , o Sol,  $S$ , e um volume arbitrário de atmosfera,  $V$ . Na ausência de partículas em suspensão na atmosfera o volume  $V$ , é irradiado por luz solar e as moléculas de ar produzem difusão de Rayleigh, que é caracterizada por uma direcção predominante de difusão segundo um ângulo de  $90^\circ$  e altamente polarizada. Nestas condições a intensidade  $I_{\perp}$  é máxima e a intensidade  $I_{\parallel}$  é praticamente nula. Por outro lado, se existirem partículas em suspensão na atmosfera, a luz difundida por elas é menos polarizada e é esta diferença que vai permitir quantificar o contraste dos objectos em ambas situações (28).

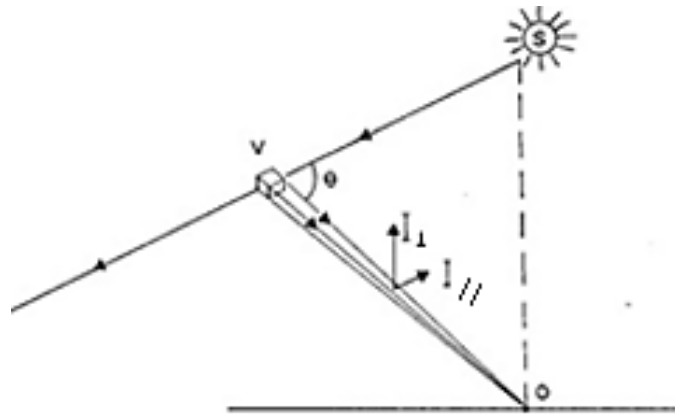


Figura 1.7 - Esquema de medição usando a polarização da luz (adaptado de (28)).

Poucos anos depois, surgiu outro instrumento mais elaborado, denominado transmissómetro. Este instrumento, que permite realizar medições directas do coeficiente de extinção, é formado por uma fonte de luz (emissor) e um receptor, como podemos ver pela figura 1.8. Após percorrer um trajecto horizontal, a luz que vai ser medida no receptor representa o valor da extinção da luz, ou seja, a quantidade de luz que foi absorvida pelas partículas mais a que foi redistribuída (29,30,31,32,33,34,35,36,37,38). Esta técnica é muito utilizada na prática essencialmente devido à sua simplicidade (39,40,41,42,43,44).

Versões mais recentes deste instrumento são a denominada CRD (cavidade de ciclos de decaimentos) e ainda a célula de extinção ou célula de White (46), que pode ser observada na figura 1.9.

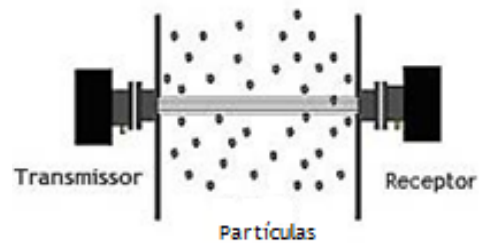


Figura 1.8 – Esquema do transmissómetro (adaptado de (45)).

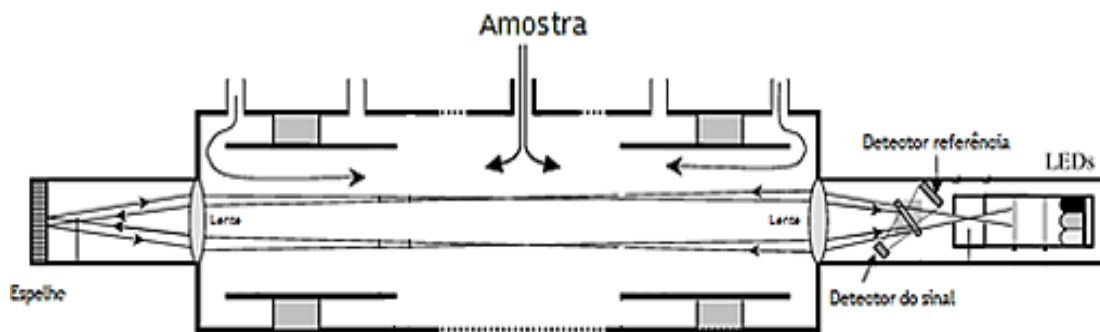


Figura 1.9 - Esquema óptico da célula de White ou célula de extinção (adaptado de (46)).

Outro sistema utilizado consiste em obter por qualquer método o valor da absorção e da difusão e calcular a extinção por  $\sigma_e = \sigma_a + \sigma_s$  (47,48,49).

Existem ainda outras técnicas que embora não sejam tão directas, têm sido também utilizadas. Por exemplo, foi feita esta medição através da utilização de uma câmara digital, onde a câmara é colocada num determinado ponto previamente seleccionado, e pretende-se que esta capte sempre a mesma paisagem, mas em diferentes condições atmosféricas, como no exemplo ilustrado na figura 1.10. Deste modo, no final da obtenção das imagens, as mesmas vão ser tratadas de forma a salientar algumas áreas tomadas como áreas de referência. Definem-se essas áreas de referência e comparam-se as imagens entre si. Posteriormente analisam-se as imagens através do contraste que apresentam nas referidas áreas (8,9,10,50,51,52,53,54,55,56).

O coeficiente de extinção pode também ser determinado teoricamente através do uso da teoria de Mie, que é uma solução analítica das equações de Maxwell para a difusão de radiação electromagnética por partículas esféricas. A difusão de Mie ocorre quando as partículas na atmosfera possuem aproximadamente o mesmo tamanho do c.d.o. da luz que está a ser difundida (0,05 - 100  $\mu\text{m}$ ) (4,19). O coeficiente de extinção pode ser obtido como

solução numérica das equações fornecidas pela teoria de Mie, para a interacção entre a luz e as partículas esféricas de raio arbitrário. No caso de uma partícula esférica de raio  $r$ , na qual incide uma onda plano-polarizada de c.d.o.  $\lambda$ , as propriedades de extinção dessa partícula, podem ser determinadas como função do parâmetro adimensional  $\alpha$  e do índice de refração complexo  $m$ , definidos por:

$$\alpha = \frac{2\pi r}{\lambda} \text{ e } m = n - ik, \quad (13)$$

onde  $n$  e  $k$  são os índices de refração e absorção, respectivamente.

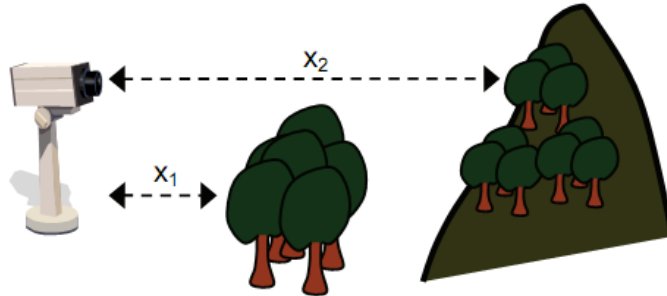


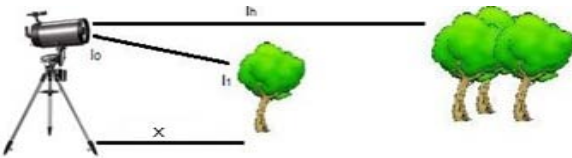
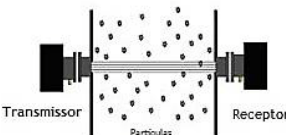
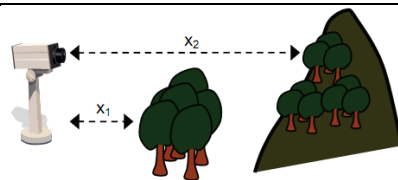
Figura 1.10 - Obtenção de imagens via câmaras de vídeo, para cálculo do coeficiente de extinção (adaptado de (10)).

É ainda possível obter uma boa estimativa do coeficiente de extinção de forma empírica a partir do conhecimento dos principais componentes do material particulado atmosférico:

$$\begin{aligned} \sigma_e = & 3 f(\text{HR}) [\text{SO}_4^{2-}] + 3 f(\text{HR}) [\text{NO}_3] + \\ & + 4 [\text{MO}] + 10 [\text{CE}] + 1 [\text{solo}] + 0,6 [\text{PG}], \quad (14) \end{aligned}$$

onde  $\text{SO}_4^{2-}$  são os sulfatos,  $\text{NO}_3$  os nitratos, MO a matéria orgânica, CE o carbono elementar e PG representa as partículas grossas. As concentrações indicadas pelos parêntesis rectos representam a massa de cada componente por unidade de volume de atmosfera, expressa em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . A concentração de matéria orgânica é obtida a partir da concentração de carbono orgânico, a concentração de partículas resultantes de resuspensão com origem nos solos é obtida através de  $[\text{solo}] = 2,2 [\text{Al}] + 2,45 [\text{Si}] + 1,63 [\text{Ca}] + 2,42 [\text{Fe}] + 1,94 [\text{Ti}]$ , a concentração de partículas grossas é obtida por  $[\text{PG}] = [\text{PM}_{10}] - [\text{PM}_{2,5}]$ , onde PM10 e PM2,5 se referem a partículas de dimensões inferiores a  $10 \mu\text{m}$  e a  $2,5 \mu\text{m}$  respectivamente,  $f(\text{HR})$  é um factor de ponderação sobre a humidade relativa. No entanto, tratando-se de um método empírico, os valores obtidos são menos fiáveis (57). A tabela 1-1 reúne as técnicas descritas, assim como as principais características de cada uma.

Tabela 1-1 - Descrição das técnicas existentes para medição do coeficiente de extinção.

Metodologia	Referência	Funcionamento
Telefotómetro	(20) (21) (22) (23) (24) (25) (26) (27)	 $\sigma_e = \frac{\ln [(i_h - i_1)/(i_h - i_0)]}{x}$ <p>Mede cdo de 550nm.</p>
Polarização da luz	(28)	$C = \frac{I_{\text{partículas}} - I_{\text{ar}}}{I_{\text{ar}}}$ <p> <math>I_{\text{partículas}} = I_{\perp \text{partículas}} + I_{\parallel \text{partículas}}</math>  <math>I_{\text{ar}} = I_{\perp \text{ar}} + I_{\parallel \text{ar}}</math>  <math>I_{\perp x}, I_{\parallel x}</math> componentes polarizadas da luz.                      Mede na zona do visível.                 </p>
Transmissómetro	(29) (30) (31) (32) (33) (34) (35) (36) (37) (38) (39) (40) (41) (42) (43) (44)	 <p>Medições predominantes na zona dos 560nm.</p>
Células de extinção ou células de White	(46)	Versão melhorada do transmissómetro.
Cavidade de ciclos de decaimento	(36)	Versão melhorada do transmissómetro.
Difusão+absorção	(47) (48) (49)	$\sigma_e = \sigma_a + \sigma_s$
Câmaras de Vídeo	(8) (9) (10) (50) (51) (52) (53) (54) (55) (56)	 $\frac{C(x_2)}{C(x_1)} = e^{-\sigma_e(x_2-x_1)}$
Método Matemático	(4) (19)	Teoria de Mie.
Fórmula Química	(57)	$\sigma_e = 3 f(\text{HR}) [\text{SO}_4^{2-}] + 3 f(\text{HR}) [\text{NO}_3] + 4 [\text{MO}] +$ $+ 10 [\text{CE}] + 1 [\text{solo}] + 0,6 [\text{PG}]$

## 4. Comparação entre as técnicas existentes

O coeficiente de extinção tem implicações directas na nossa vida, o que provocou o vasto interesse pela construção das várias técnicas descritas na secção 3. Existem vários estudos comparativos entre as referidas técnicas e constata-se que os resultados entre elas nem sempre se assemelham. Por este mesmo motivo, apresentam-se na secção que se segue as principais conclusões das comparações entre os métodos apresentados.

Começando pelo telefotómetro, podemos verificar que as medições são realizadas a longas distâncias uma vez que o telescópio é adaptado para esse mesmo fim, tornando-se assim uma vantagem pois o trajecto que a luz irá percorrer será longo, representando de forma mais real o que acontece na atmosfera. No entanto, uma desvantagem que esta técnica apresenta, prende-se com a forma como se obtém o valor do contraste, pois parte-se sempre do pressuposto que o fundo da imagem é preto, o que não é real, introduzindo erros no cálculo do contraste. Verifica-se ainda o facto de ter de se realizar uma medição perto do objecto o que a obriga a pelo menos uma deslocação até ele (22,23,24,25).

Quanto ao método que se baseia na polarização da luz, uma vez que é uma adaptação do telefotómetro, apresenta as mesmas desvantagens que este instrumento (28).

Por sua vez, o transmissómetro apresenta desvantagem ao realizar as medições de extinção em distâncias muito curtas. A luz percorre um trajecto muito pequeno até atingir o receptor e conseqüentemente há poucas oportunidades de atenuação, o que representa um problema para valores baixos de extinção. Desta forma, não há uma representação fiel do que se passa na atmosfera. Com as células de extinção a questão do trajecto a percorrer ser demasiado curto, é de certa forma ultrapassada, pois a luz antes de incidir no receptor é reflectida sucessivamente entre dois espelhos, acabando assim por percorrer distâncias maiores.

Quanto ao método que consiste na soma da difusão com a absorção, ocorrem todos os erros inerentes aos aparelhos que vão proceder à medição da difusão e da absorção. Existem sempre perdas e falhas quando estamos a medir valores tão específicos e pequenos como os referidos, logo para obtermos o coeficiente de extinção através deste método todos os erros vão estar implícitos.

Utilizando as câmaras de vídeo existem problemas inerentes à própria máquina, como as aberrações esféricas que podem ser provocadas pela lente da câmara, ou incremento de ruído (pequenas manchas aleatórias) que podem alterar a qualidade das imagens obtidas. Existe ainda outro problema que se prende com o facto de a luz ter de atravessar várias barreiras antes de atingir o sensor, o que provoca perda de luz pelo caminho (51).

Passando para as técnicas teóricas para obtenção do coeficiente de extinção, podemos dizer de forma geral que o facto de estarmos a fazer um cálculo teórico acarreta

sempre erros, pois o que fazemos não é medir directamente o coeficiente de extinção, mas sim realizar cálculos de forma a obter o valor pretendido, não representando assim o que acontece de facto.

Aplicar a teoria de Mie implica o uso de expressões e cálculos numéricos bastante complexos e algumas aproximações, que podem originar erros, especialmente no caso de partículas grandes (4,19,58).

Quanto ao método químico, temos o grande inconveniente de não se medir directamente o coeficiente de extinção, uma vez que o valor medido é a massa dos componentes químicos por unidade de volume e depois consoante as propriedades de extinção de cada partícula faz-se uma estimativa da extinção total para aquela amostra específica.

## Capítulo 2

# Medição da visibilidade

### 1. Descrição do método utilizado

Na presente secção descrever-se-á o método escolhido e utilizado neste trabalho para obtenção do coeficiente de extinção e da visibilidade. Dos métodos apresentados anteriormente, optámos por medir o coeficiente de extinção a partir de fotografias, obtidas com uma câmara digital, de uma paisagem pré-seleccionada. A escolha deste método deveu-se à sua simplicidade técnica associada à potencialidade de obtenção de dados de qualidade.

O primeiro passo na aplicação deste método consiste na selecção de um local de medição adequado. Este local deve permitir a captação de uma imagem livre de obstáculos e na qual seja possível obter a luminância de dois objectos idênticos situados a duas distâncias diferentes da câmara,  $x_1$  e  $x_2$ . Nestas condições, o coeficiente de extinção (que leva em conta a difusão e a absorção da luz) pode ser obtido a partir do contraste entre os objectos e o fundo. A visibilidade pode então ser calculada a partir do coeficiente de extinção. A figura 2.1 apresenta o esquema de montagem utilizado para a realização das medições.

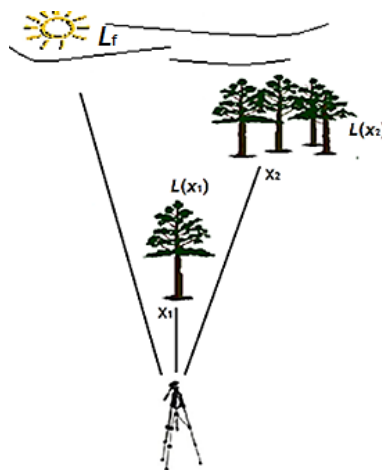


Figura 2.1 - Esquema de montagem.

De acordo com a expressão para o *contraste de Weber*, equação (5), o contraste entre os objectos e o fundo é definido por:

$$C(x) = \frac{L_f - L(x)}{L_f},$$

onde  $L_f$  é a luminância do fundo e  $L(x)$  é a luminância de um objecto situado à distância  $x$  da câmara. A luminância aparente do objecto varia com a distância ao mesmo, devido aos fenómenos de absorção e difusão da luz pelas partículas atmosféricas. Devido a estes efeitos o contraste do objecto diminui de acordo com a lei de Lambert-Beer, equação (2), de tal forma que:

$$C(x) = C_0 e^{-\sigma_e x},$$

onde  $C_0$  é uma constante que depende da natureza dos objectos e  $\sigma_e$  é o coeficiente de extinção. Medindo a luminância de ambos objectos e do fundo, é possível determinar o contraste de cada um deles e a constante  $C_0$  pode ser eliminada através de:

$$\frac{C(x_2)}{C(x_1)} = \frac{L_f - L(x_2)}{L_f - L(x_1)} = e^{-\sigma_e(x_2 - x_1)}, \quad (15)$$

onde  $L(x_1)$  é o valor da luminância calculado para o objecto localizado à distância  $x_1$ ,  $L(x_2)$  a luminância para o objecto à distância  $x_2$ ,  $L_f$  é o valor da luminância para o fundo e  $\sigma_e$  é o valor que se pretende de coeficiente de extinção.

Obtido o coeficiente de extinção com este procedimento, a visibilidade é facilmente calculada a partir da fórmula de Middleton, equação (8),  $\mathcal{F}^2 = 3.0/\sigma_e$ .

Na figura 2.2 apresenta-se uma fotografia (amostra) utilizada no trabalho, com as áreas de estudo identificadas pelos quadrados amarelos. Foram seleccionados como objectos idênticos, um conjunto de árvores mais próximo da câmara e outro conjunto de árvores do mesmo tipo, situadas mais afastadas da câmara.



Figura 2.2 - Exemplo de fotografia utilizada no trabalho (fotografia parcial).

A distância da câmara aos objectos foi obtida utilizando a ferramenta de medição de distâncias do Google Earth, que nos permitiu seleccionar o ponto de localização da câmara e traçar uma linha até à localização dos dois objectos, fornecendo-nos assim as seguintes distâncias  $x_1 = 400,00$  m e  $x_2 = 3700,00$  m. Esta amostra vai ser utilizada para exemplificar o

cálculo da visibilidade. As áreas em análise para representarem os objectos e o fundo possuem todas o mesmo número de pixels 10x10. Começa-se por extrair os valores RGB<sup>4</sup> de cada pixel e calcula-se a média dos valores para cada uma das áreas (pela sequência R-G-B), para melhor se perceber o sistema com que estamos a trabalhar fez-se uma representação do mesmo na figura 2.3.

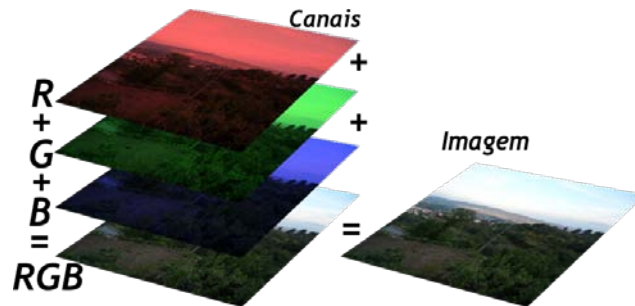


Figura 2.3 - Exemplo do funcionamento dos canais RGB.

Da amostra obtiveram-se os seguintes valores, para o objecto localizado à distância  $x_1$  [34,58; 39,25; 43,75], para o objecto localizado à distância  $x_2$  [148,00; 148,33; 147,50] e ainda para o fundo [219,91; 253,24; 255,00]. Estes canais R, G e B podem ser analisados independentemente, conduzindo à determinação de três valores espectrais do coeficiente de extinção ( $\sigma_e^R$ ,  $\sigma_e^G$ ,  $\sigma_e^B$ ), ou podem ser analisados de forma combinada, conduzindo a um único valor do coeficiente de extinção ( $\sigma_e(\text{visível})$ ). Para obter o valor da luminância a partir das componentes RGB, vai ser utilizada a expressão apresentada por (59,49):

$$L = 0,2162R + 0,7152G + 0,0722B \quad (16)$$

onde  $L$  é um valor proporcional à luminância,  $R$  diz respeito à componente *red* (vermelho) da imagem,  $G$  refere-se ao *green* (verde) e por fim o  $B$  de *blue* (azul). Aplicando (16) à nossa amostra, obtêm-se os seguintes valores  $L(x_1) = 38,71$ ,  $L(x_2) = 148,74$  e  $L_f = 246,07$ . Aplicando então a expressão (15) obtêm-se um coeficiente de extinção de  $227,55 \text{ Mm}^{-1}$ . Após o cálculo do valor do coeficiente de extinção para cada uma das fotografias, aplica-se a expressão (8) que permite obter o valor da visibilidade. Para a nossa amostra de exemplo tem-se um resultado de 13,18 km.

De referir que o elevado número de amostras obtidas, justificou a automatização do processo de obtenção dos valores de coeficientes de extinção e visibilidade através de uma rotina de cálculo apresentada no CD que acompanha esta dissertação.

<sup>4</sup> Na representação numérica do sistema RGB atribui-se um valor a cada uma das componentes. Este valor varia entre 0 (completamente escuro) e o máximo de 255 (completamente intenso). Quando todas as cores estão no mínimo, o resultado é preto. Se todas estão no máximo, o resultado é branco.

## 2. Definição de parâmetros do sistema de medição. Cuidados especiais.

Uma vez que todos os métodos de medição requerem cuidados especiais que se não forem controlados acarretam fontes de erro, e em maior ou menor escala afectam os resultados finais, descrevem-se de seguida alguns pontos que são considerados críticos no método aqui utilizado.

Começando pela captação das imagens, há necessidade que as amostras para serem comparáveis, possuam as mesmas características (mesmas condições de medição). Com este objectivo há que impedir que as opções automáticas da própria máquina fotográfica interfiram nas amostras obtidas, e portanto uniformizaram-se as opções fotográficas. Para a realização deste trabalho optou-se pela utilização de uma máquina fotográfica de uso comum com a marca *Samsung* e modelo ST70/ST71. Foram retirados todos os automatismos do aparelho e todas as características foram definidas manualmente de forma a assegurar que todas as fotografias fossem obtidas nas mesmas condições, evitando assim que este fosse um factor que viesse a influenciar o resultado final. Deste modo, as características adoptadas para obter as amostras foram em modo de paisagem, sem utilização de flash, sem utilização de zoom, resolução máxima de 14 megapixels, resolução máxima da imagem de 4320 x 3240 pixels, com um valor de ISO de 3200 e com opção OIS (*optical image stabilization*). As amostras foram obtidas no final do dia, incluindo dias de semana e alguns fins-de-semana, entre as 19h25 e as 19h55 UTC<sup>5</sup>.

A hora a que é obtida a amostragem é um parâmetro importante uma vez que o valor do coeficiente de extinção varia ao longo do dia consoante diversos factores (por exemplo o fumo dos carros em hora de ponta). A obtenção de amostragem a diferentes horas do dia teria permitido o estudo do ciclo diário de variação do coeficiente de extinção, no entanto, este estudo fica fora dos objectivos do presente trabalho.

Para garantir sempre a mesma área de estudo para os objectos às distâncias  $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_r$ , utilizou-se um tripé ao qual se acoplou a máquina fotográfica que por sua vez mantivemos fixos durante todo o estudo. As amostras foram assim obtidas sempre a partir do mesmo local (marcado no chão), tentando evitar alterações de ângulo.

De referir que em condições ideais, os dois objectos utilizados deveriam ser pretos (para não reflectirem luz directamente para a câmara) e iguais entre si. No entanto, na prática verifica-se que se os objectos forem suficientemente escuros, o método pode ser igualmente utilizado sem que se introduzam erros demasiado grandes. A razão da insensibilidade do método à variação de luminâncias dos objectos, desde que estes sejam

---

<sup>5</sup> *Coordinated Universal Time*.

escuras, advém do facto de os objectos escuros serem menos afectados pelas condições de iluminação ambiente do que os objectos claros.

Para terminar, falta abordar a questão informática, pois uma que vez existe um elevado número de amostras com grande resolução, o armazenamento de tanta informação a nível do computador justificou a criação de rotinas de trabalho que permitissem tratar os dados da forma mais eficiente possível e sem sobrecarregar o computador. Desta forma, criou-se uma base de dados, da qual se efectuou semanalmente uma cópia de segurança, organizada de acordo com a data de obtenção das amostras. O nome de cada ficheiro de amostra foi construído seguindo o esquema YYYYMMDDHHmm.jpg.

### 3. Limitações do método utilizado

O método que foi escolhido para medir o coeficiente de extinção apresenta algumas limitações que são descritas de seguida.

O detector das máquinas fotográficas é composto por várias células fotossensíveis (quanto maior o número de células, melhor resolução terá a fotografia) que vão receber a luz (fotões). Cada uma dessas células contém um ou mais fotodíodos que têm a função de converter a luz num sinal eléctrico, para que possa ser processado como uma imagem (dados digitais). Este passo, que diz respeito à passagem da informação analógica (sinal contínuo que varia em função do tempo) para o formato digital (sinais descontínuos em tempo e em amplitude), acarreta erros de perda de informação e de arredondamento, denominados erros de quantização (60) que vão ter repercussões nos valores finais que vamos extrair das fotografias, afectando assim o valor do coeficiente de extinção.

Durante este processo surge ainda um problema muito comum, que pode ser causado quando a actividade eléctrica por si consegue gerar um sinal que vai fazer variar a temperatura, provocando a formação de pequenos pontos com variação de cor que vão deteriorar a imagem final, este fenómeno designa-se por ruído na imagem, como no exemplo da figura 2.4 (61).



Figura 2.4 - Exemplo de imagem com incremento de ruído.

O ruído na imagem vai ser mais ou menos perceptível consoante o valor de sensibilidade de exposição à luz (ISO), escolhido para tirar as fotografias. Quanto maior o valor de ISO, maior será o nível de ruído que é produzido e que acompanha o sinal da figura (51). De referir ainda que existem 3 tipos de ruído, o ruído de luminância, o ruído de riscas/bandas e o ruído cromático. O ruído de luminância refere-se a flutuações na intensidade luminosa principalmente nas zonas mais escuras da fotografia, o ruído de riscas/bandas é mais difícil de contornar e tem origem em qualquer anomalia que surja durante o processamento da imagem e por fim o ruído cromático, refere-se a variações na cor (manchas). Assim sendo, esta é uma desvantagem do nosso método, pois incontornavelmente vão existir pontos externos a deteriorar a imagem seleccionada e que conseqüentemente vão alterar os valores finais (61).

A velocidade do obturador ou tempo de exposição é outro parâmetro que pode influenciar os dados apresentados. Este parâmetro está relacionado com o tempo que o obturador da máquina demora a abrir e a fechar o que permite uma maior ou menor entrada de luz no aparelho, que segue o trajecto até atingir o sensor. Quanto menor o tempo de exposição menos luz vai entrar na máquina e portanto a qualidade da imagem será afectada (62). O problema com que nos deparamos ao utilizar este método é a variação do tempo em todas as fotografias, fazendo com que sejam todas diferentes, este facto deve-se às limitações mecânicas da própria máquina fotográfica e é por isso incontornável (51).

Outra dificuldade do método apresentado está associada à imagem, pois a sua iluminância vai decrescendo do centro para a periferia como resultado da geometria/óptica envolvida. Verifica-se um certo escurecimento da imagem na zona periférica provocado pela lente que leva o detector a receber mais luz no centro que na periferia (63). Este efeito é conhecido pelo nome de vinhetagem<sup>6</sup>. A explicação para este ponto advém da lei do co-seno à quarta, que explica este escurecimento através do facto de a luz ter de percorrer uma distância maior até à periferia da imagem quando comparada com o centro e portanto existe uma maior extinção de luz, como pode ser observado na figura 2.5.

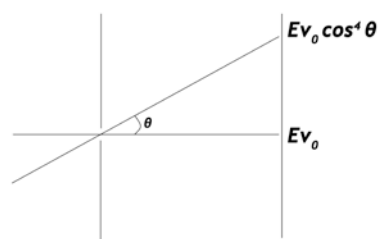


Figura 2.5 - Explicação geométrica para a lei do co-seno à quarta.

<sup>6</sup> O termo vinhetagem é uma adaptação do termo inglês *vignetting* que embora não exista em português, se tornou de uso comum na área da fotografia (90).

O feixe de luz atinge o centro da imagem na incidência normal enquanto que para conseguir atingir a periferia sofre uma inclinação  $\theta$ , a perda da iluminância ( $E_{V_0}$ ) do centro para a periferia verifica-se na razão de  $\cos^4 \theta$  (64,51,65), resultando num efeito semelhante ao que pode ser observado na figura 2.6. Embora a maioria dos sistemas ópticos sofram de vinhetagem, este efeito é mais notório quando a lente é usada a distâncias focais muito curtas (ângulos grandes). Por este motivo, não é de esperar uma grande influência deste factor sobre os nossos resultados, uma vez que estamos a trabalhar com distâncias focais grandes.



Figura 2.6 - Amostra com incremento de vinhetagem. Efeito exagerado para melhor percepção.

Para além destas questões inerentes à máquina pode ainda ser referido mais um aspecto que se prende com o facto de estarmos a analisar os objectos em relação a um fundo que é o céu. Este facto pode induzir erros no caso de no momento da fotografia este se encontrar obstruído de alguma maneira, ou seja, no momento em que é registada a amostra podem ser captados elementos externos (como nuvens por exemplo) afectando assim o valor RGB e prejudicando a medida.

Para terminar, refere-se o problema matemático que surge devido à utilização de valores médios de RGB e não os reais valores triestímulos (66). Desta forma os valores utilizados incluem, diluídos nas médias, valores correspondentes a pixels de ruído, o que vai afectar os resultados.

# Capítulo 3

## Registo dos resultados

### 1. Dados obtidos no procedimento experimental

Nesta secção iremos começar por apresentar os resultados que obtivemos durante o nosso procedimento experimental. Tal como foi descrito na secção anterior, utilizámos uma câmara digital com a qual captámos as imagens, capturámos sempre a mesma imagem sensivelmente à mesma hora para evitar erros, de cada imagem retirámos os valores RGB e trabalhamos sobre os dados até obtermos os valores de coeficiente de extinção e visibilidade.

A localização do ponto de origem foi sempre a mesma, Quinta da Mata, Rua do Comércio nº4, Bairro de Santo António, Covilhã. A figura 3.1 apresenta a referida localização de origem e os respectivos pontos localizados às distâncias  $x_1$  e  $x_2$ .

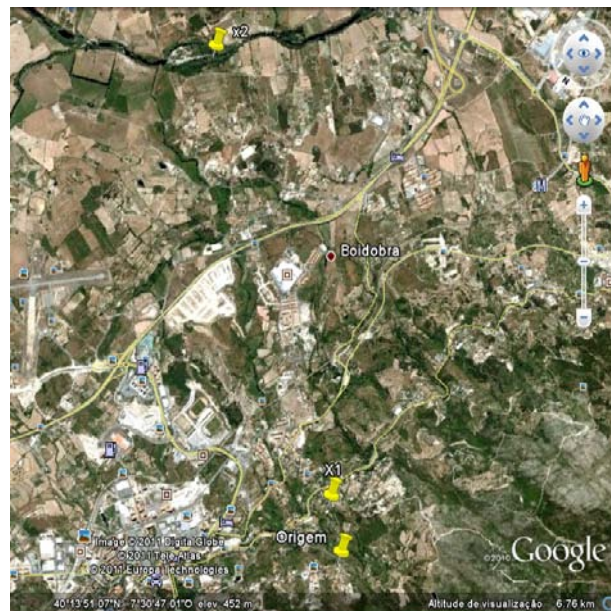


Figura 3.1 - Imagem obtida a partir do Google Earth com as respectivas localizações.

A primeira fotografia foi captada no dia 2 de Abril de 2011 e terminámos no dia 8 de Junho de 2011, perfazendo um total de 41 medições. A figura 3.2 mostra os resultados obtidos dentro deste intervalo de tempo. Existem alguns pontos que são importantes de referir antes de passarmos à análise dos dados recolhidos. Por exemplo, durante o nosso intervalo de estudo capturámos as amostras em condições meteorológicas significativamente diferentes o que permitiu obter amostras representativas de diversas situações. Outro ponto prende-se com os dias da semana em que tirámos as fotografias, sendo que 30 amostras foram

obtidas a dias úteis e as restantes 11 amostras foram obtidas ao fim-de-semana. No gráfico podemos verificar esta distinção através da barra cinzenta que representa os fins-de-semana.

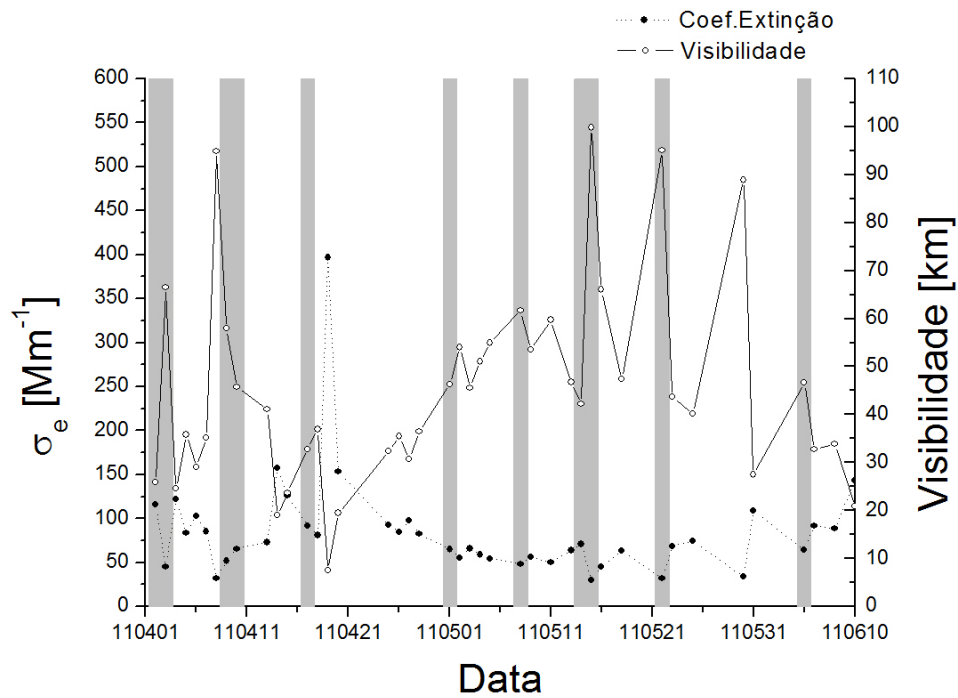


Figura 3.2 - Evolução temporal do coeficiente de extinção e da visibilidade.

Na figura 3.2 o eixo do lado esquerdo representa os valores de coeficiente de extinção e o eixo do lado direito os valores inversamente proporcionais de visibilidade, uma vez que se existir um valor alto de coeficiente de extinção (muita perda de luz na atmosfera) iremos obter um baixo valor de visibilidade (imagens com pouco contraste).

Podemos verificar através da análise do gráfico que existe uma ligeira tendência para o valor do coeficiente de extinção diminuir ao longo do tempo, mas de forma mais notória a partir do dia 20 de Abril, este facto pode estar relacionado com as condições meteorológicas uma vez que no início do estudo encontrámos um tempo chuvoso e nublado propício ao aumento do coeficiente de extinção na atmosfera, enquanto que nas últimas amostras a condição do tempo melhorou levando a uma melhoria da visibilidade.

Se observarmos a figura podemos ainda verificar que os valores incluídos nas barras cinzentas (fotografias obtidas ao fim-de-semana), são valores relativamente mais baixos que os restantes, algo que iremos comprovar de seguida através da análise estatística.

A figura 3.2 mostra ainda que algumas das amostras apresentaram valores extremos que saem fora da média das restantes fotografias, para melhor percebermos o conjunto de dados que obtivemos neste estudo, apresenta-se de seguida a tabela 3-1 com os valores estatísticos de maior relevância para o estudo.

Tabela 3-1 - Dados estatísticos das amostras obtidas.

	Dados estatísticos	Coefficiente de extinção [Mm <sup>-1</sup> ]	Visibilidade [km]
Total de dias (41 dias)	Máximo	396,62	99,81
	Mínimo	30,06	7,56
	Mediana	71,06	42,22
	Média	83,73	45,57
	Desvio padrão	58,52	20,94
	Percentil 25	55,58	32,80
	Percentil 75	91,49	53,98

Vamos proceder à análise dos dados estatísticos, primeiro de forma geral e depois separadamente (dias úteis / fins-de-semana). Começando pela análise do valor máximo para o coeficiente de extinção verificamos que obtivemos o valor mais elevado, 396,62 Mm<sup>-1</sup>, no dia 19 de Abril de 2011, amostra da figura 3.3, e tal como podemos constatar este foi um dia com um nevoeiro denso o que justifica os valores obtidos. De notar ainda que este valor máximo é muito maior que o valor de percentil 75 de 91,49 Mm<sup>-1</sup>, indicando que este valor máximo foi um caso pontual presente nas nossas amostras. Neste mesmo dia o valor da visibilidade apresenta o seu mínimo de 7,56 km.



Figura 3.3 - Amostra obtida no dia 19 de Abril de 2011.

Para a visibilidade obtivemos o valor máximo de 99,81 km no dia 15 de Maio de 2011. Neste dia, uma vez que as condições atmosféricas estavam excelentes a visibilidade é alta e conseguimos ver a paisagem em grande extensão. Este valor é ligeiramente mais elevado, quando comparado com o valor do percentil 75 de 53,98 km, o que significa que o valor máximo está um pouco acima do percentil, indicando que são poucas as imagens com uma

visibilidade próxima deste valor. Neste dia obtivemos o valor mínimo de coeficiente de extinção,  $30,06 \text{ Mm}^{-1}$ .

Segue-se a análise do valor obtido para a mediana. Relativamente ao coeficiente de extinção a medida obtida foi de  $71,06 \text{ Mm}^{-1}$  e para a visibilidade obteve-se o valor de  $42,22 \text{ km}$ , ambos estão abaixo dos valores das respectivas médias, indicando que a situação habitual neste local é apresentar valores ligeiramente inferiores aos indicados pela média. A título de exemplo, na figura 3.4 apresentamos uma amostra (dia 18 de Abril) com valores de coeficiente de extinção próximos do valor médio ( $\sigma_e = 81,29 \text{ Mm}^{-1}$  e  $\bar{\mathcal{V}} = 36,91 \text{ km}$ ).



Figura 3.4 - Amostra obtida no dia 18 de Abril de 2011.

O desvio padrão é um parâmetro que indica a dispersão estatística, valores altos de desvio padrão significam que existem muitos valores extremos no total da amostra, e é isso que se verifica para o valor do coeficiente de extinção  $58,52 \text{ Mm}^{-1}$  e para a visibilidade que apresenta um desvio padrão de  $20,94 \text{ km}$ . Estes dados eram previsíveis na medida em que temos fotografias com muito nevoeiro e outras com céu limpo e sol.

Outra forma de avaliar a dispersão é através do percentil, neste caso optou-se pelo percentil 25 e percentil 75 onde constatamos que para o caso do coeficiente de extinção 25% das amostras obtiveram valores inferiores a  $55,58 \text{ Mm}^{-1}$  e 75% abaixo de  $91,49 \text{ Mm}^{-1}$ . O valor máximo de  $396,62 \text{ Mm}^{-1}$  é muito mais elevado levando à conclusão que foi um exemplo isolado. No caso da visibilidade verificamos que 25% das amostras obtiveram valores inferiores a  $32,80 \text{ km}$  enquanto que abaixo de 75% o valor quase duplica para  $53,98 \text{ km}$ , ou seja na maior parte das amostras obtivemos uma qualidade na imagem que nos permite ver perfeitamente os pontos localizados às distâncias  $x_1 = 0,4 \text{ km}$  e  $x_2 = 3,7 \text{ km}$ .

Após a análise estatística de todos os dados revelou-se interessante fazer uma análise separada das amostras que foram obtidas aos dias de semana e das amostras obtidas aos fins-de-semana, por isso apresentam-se os dados na tabela 3-2.

Tabela 3-2 - Dados estatísticos separados por dias úteis e fins-de-semana.

	Dados estatísticos	Coeficiente de Extinção [Mm <sup>-1</sup> ]	Visibilidade [km]
Fins-de- -semana (11 dias)	Máximo	95,12	99,81
	Mínimo	30,06	31,54
	Mediana	64,30	46,66
	<b>Média</b>	<b>60,66</b>	<b>55,88</b>
	Desvio padrão	20,42	22,47
	Percentil 25	48,63	42,22
	Percentil 75	71,06	61,69
Dias da semana (30 dias)	Máximo	396,62	94,86
	Mínimo	31,62	7,56
	Mediana	81,87	36,68
	<b>Média</b>	<b>91,75</b>	<b>41,60</b>
	Desvio padrão	65,23	18,81
	Percentil 25	58,83	30,76
	Percentil 75	97,53	50,99

Analisando separadamente os valores obtidos é notória a diferença entre os valores das médias, pois nos fins-de-semana obtivemos uma média para o  $\sigma_e = 60,66 \text{ Mm}^{-1}$  (std =  $20,42 \text{ Mm}^{-1}$ ) e a média da visibilidade de  $55,88 \text{ km}$  (std =  $22,47 \text{ km}$ ), enquanto que a média obtida das amostras correspondentes aos dias úteis se revelou superior, para o coeficiente de extinção de  $91,75 \text{ Mm}^{-1}$  (std =  $65,23 \text{ Mm}^{-1}$ ) (+  $31,09 \text{ Mm}^{-1}$ ) e consequentemente inferior para a visibilidade  $41,60 \text{ km}$  (std =  $18,81 \text{ Mm}^{-1}$ ) (-  $14,28 \text{ km}$ ). Todos os restantes valores entram em concordância com a média, como podemos verificar através do desvio padrão e dos percentis existe sempre uma diferença relativamente significativa entre os valores obtidos aos fins-de-semana e aos dias de semana. Este facto pode estar relacionado com as rotinas diárias praticadas por todos nós, pois essas rotinas são alteradas no fim-de-semana.

De seguida iremos apresentar a variação espectral do coeficiente de extinção, ou seja, como é que o coeficiente de extinção varia para os três canais RGB. A figura 3.5 vai representar para cada dia os três valores de coeficiente de extinção (RGB).

A análise desta figura deixa-nos perceber a forma como varia o coeficiente de extinção ao longo do espectro do visível. Verificamos que com o aumento do comprimento de onda (*Blue* ~ 440 - 485 nm ; *Green* ~ 500 - 565 nm ; *Red* ~ 625 - 740 nm) o valor do coeficiente de extinção tende a diminuir. Este comportamento é observável na maioria dos dias analisados.

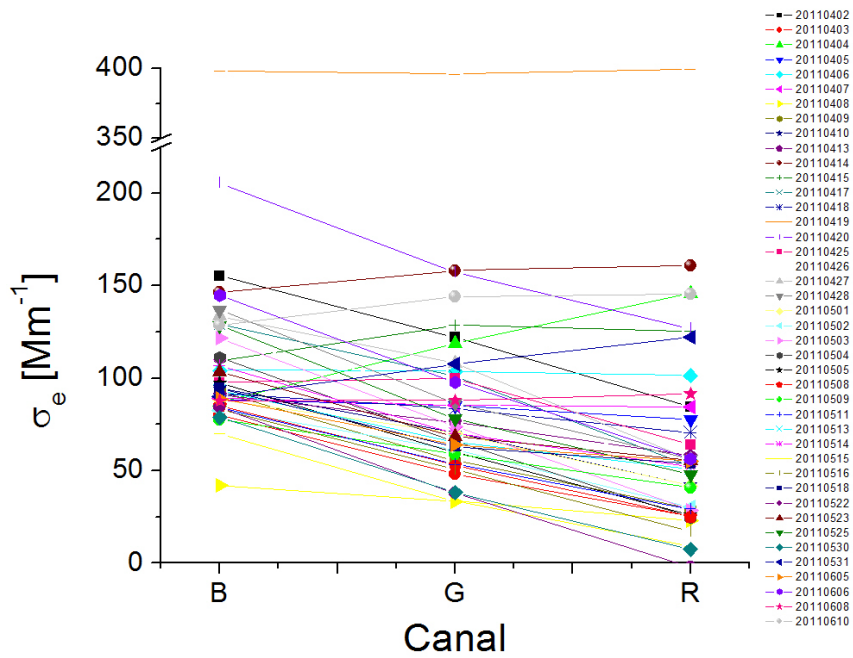


Figura 3.5 - Variação espectral do coeficiente de extinção em todos os dias de campanha.

Assim, podemos dizer que de forma geral a curva típica que representa a forma como o coeficiente de extinção se relaciona com o espectro nesta região, tem o aspecto representado na figura 3.6.

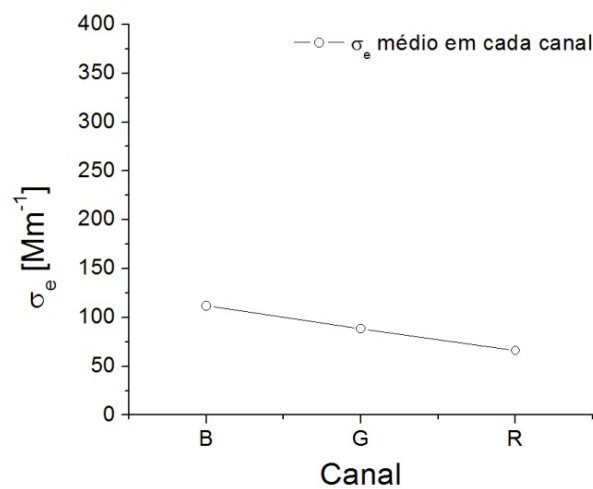


Figura 3.6 - Valor médio do coeficiente de extinção em cada canal espectral.

## 2. Tratamento estatístico de erros e repetibilidade

Nesta secção vamos apresentar uma estimativa dos erros que influenciam os dados obtidos. Todas as medições que eram susceptíveis de erros e cujos erros foram possíveis de quantificar, foram estimados a partir da teoria de propagação do erro.

Assim calculámos os erros de acordo com as seguintes fórmulas:

$$\Delta L = \sqrt{\left(\frac{\partial L}{\partial R}\right)^2 (\Delta R)^2 + \left(\frac{\partial L}{\partial G}\right)^2 (\Delta G)^2 + \left(\frac{\partial L}{\partial B}\right)^2 (\Delta B)^2}$$

$$\Delta\sigma_e = \left( \left(\frac{\partial\sigma_e}{\partial L_f}\right)^2 (\Delta L_f)^2 + \left(\frac{\partial\sigma_e}{\partial L(x_1)}\right)^2 (\Delta L(x_1))^2 + \left(\frac{\partial\sigma_e}{\partial L(x_2)}\right)^2 (\Delta L(x_2))^2 + \left(\frac{\partial\sigma_e}{\partial x_1}\right)^2 (\Delta x_1)^2 + \left(\frac{\partial\sigma_e}{\partial x_2}\right)^2 (\Delta x_2)^2 \right)^{1/2}$$

Após a realização dos cálculos matemáticos podemos verificar que em termos percentuais o erro atinge valores dentro do intervalo [5 - 15] %.

Foram ainda realizados testes de repetibilidade das medições, figura 3.7, captando as amostras com duas máquinas diferentes. Os resultados obtidos revelaram uma diferença na ordem dos 20%. Este resultado é em grande medida, consequência de as duas máquinas disponíveis possuírem uma capacidade de resolução muito diferente, sendo que uma delas possui uma resolução tão baixa que introduziu erros maiores.



Figura 3.7 - Exemplo da mesma amostra obtida com as 2 máquinas fotográficas.

### 3. Comparação com a bibliografia

As tabelas que se seguem apresentam os resultados obtidos nas medições efectuadas entre 1950 e 2010 por diversos autores nas mais diversas situações, utilizando diferentes técnicas. O valor mais baixo registado foi obtido por (46) através de um estudo laboratorial através do uso de um transmissómetro. Por outro lado, o valor mais elevado foi obtido por (42), onde o aparelho que realizou a medição foi o transmissómetro localizado em Itália sobre

um denso nevoeiro. Na tabela 3-3 e na tabela 3-4 apresentam-se resultados de 39 estudos, dos quais 14 foram realizados em laboratório e 25 referem-se a dados atmosféricos.

Tabela 3-3 - Dados obtidos nos estudos recolhidos.

Data do estudo	Técnica	Local do estudo	c.d.o.: $\sigma_e$ [ $Mm^{-1}$ ]	Autor
1950-1997	Método matemático	UK 8 Espaços rurais e urbanos	[3,57 - 1204,8]	(60)
1964-89	Telefotómetro	Europa - rural América (N e S) - rural e deserto	[60 - 100] [20 - 40]	(23)
1972-78	Telefotómetro	EUA - San Francisco (85km desde Baía de S.F. até aeroporto)	[40 - 200]	(20)
1976-77	Telefotómetro <sup>1</sup>	Áustria - Viena	< 2000	(22)
1977	Método matemático	EUA - Califórnia	[1,5 - 4]	(19)
1979	Telefotómetro	Canadá	[4,4 - 84]	(67)
1980	Telefotómetro	EUA - Arizona	[166,7 - 411,5]	(68)
1983	Transmissómetro <sup>2</sup>	Itália - Po Valley Nevoeiro	[30000 - 80000]	(42)
1988- 91	Método Matemático	EUA 36 Locais da parte ocidental; desde Washington até Grand Canyon	Great Basin, central Rocky Mountains 22,9 Zona citadina EU 164,3	(69)
1988-99	Fórmula química	EUA	[1,2 - 512,0]	(57)
1988-89	Telefotómetro	Chile Santiago do Chile	< 1600	(26)
1988-89	Telefotómetro	Chile Santiago do Chile	[100 - 1000]	(24)
1990	Telefotómetro	Chile Santiago do Chile	[150 - 430]	(27)
1990	Trasmissómetro 550nm	EUA Califórnia, Nevada, Arizona, Colorado e Utah	Summer Meadview [14,08 - 41,36] Improve < 56,10	(70)
1990-91	Transmissómetro <sup>3</sup>	Alemanha Tubingen	Laser diode [80-200] Laser Nd: YAG [50-170] Laser CO <sub>2</sub> [70-250]	(33)
1991	Nefelómetro + OEC 538nm	Kuwait Fumo obtido dos fogos	[1000 - 24000]	(47)
1993	Telefotómetro	Itália (Sul) (meio rural)	[30 - 200]	(25)
1994-95	Telefotómetro <sup>4</sup>	Chile	450 nm: < 1400	(21)

		Santiago do Chile	550 nm [100 a 140]	
1997	Difusão + Absorção	México: La Merced (mercado/cidade)	[115,95 - 644,44]	(49)
1997-98	Câmaras de vídeo <sup>5</sup>	China - Hefei	[666,7 - 10638,0]	(50)
2000	Transmissómetro <sup>6</sup>	EUA	[150 - 190]	(34)
2000-02	Medição difusão	Israel Tel Aviv	[6666,7 - 12048,2]	(48)
2002	Transmissómetro <sup>11</sup>	EUA - Nevada Ar ambiente	21,63	(31)
2002	Transmissómetro <sup>10</sup>	Caso 1: camada limite-marítimo	10,4	(30)
		Caso 2: troposfera livre: Pacífico	1,48	
		Caso 3: camada limite: urbano	57,9	
2002	Transmissómetro <sup>7</sup>	Ásia Áreas urbanas	[450 - 8200]	(71)
2004	Câmaras de vídeo	Alemanha - urbano	[90,9 - 149,3]	(72)
2006	Câmaras de vídeo Transmissómetro	EUA - Phoenix (Norte e Sul) - Rural	[40 -180]	(55)
2006	Câmaras de vídeo	Tailândia - cidade	< 3157,9	(73)
2007	Transmissómetro <sup>8</sup>	Laboratório	Obtenção de espectro completo de poeiras minerais.	(74)
2009	Transmissómetro <sup>9</sup>	EUA	< 350	(39)
2009	Câmaras de vídeo	França - rural	66,7	(54)

<sup>1</sup> Picos de transmissão: 400,450,500,550,575,600,625,650 e 700 nm.

<sup>2</sup> He-Ne laser (632,8 nm)

<sup>3</sup> Nd:YAG laser (1064 nm) + CO<sub>2</sub> laser (10.600 nm)

<sup>4</sup> Com filtros: 400, 450, 550, 650 nm

<sup>5</sup> DPVS - *Digital Photography Visibility System*

<sup>6</sup> Nd:YAG laser

<sup>7</sup> LP-DOAS - *Long-Path Differential Optical Absorption Spectroscopy*

<sup>8</sup> EAC - *Environmental Aerosol Chamber*

<sup>9</sup> CAPS LED

<sup>10</sup> CRDS 532 nm

<sup>11</sup> CRD + CED - *Cavity Enhanced Detection* - 532 nm

A tabela 3-4 apresenta os resultados de coeficientes de extinção obtidos em diversos estudos realizados sobre partículas geradas em laboratório. A produção de partículas geradas de forma controlada em laboratório tem a vantagem de permitir medir aerossóis conhecidos e bem caracterizados que servem essencialmente para calibrar as técnicas experimentais existentes. Trata-se de produzir partículas com tamanho, forma e índice de refração conhecidos para que desta maneira a quantidade de absorção e difusão por elas produzidas sejam também conhecidas e possa ser determinado teoricamente o coeficiente de extinção. Depois compara-se o desempenho da técnica de medição com o resultado teórico esperado. Muitas técnicas de medição apenas podem ser utilizadas para medir partículas atmosféricas depois de terem passado por este processo de calibração com partículas geradas em laboratório.

Tabela 3-4 - Experiências laboratoriais - partículas geradas em laboratório.

Data do estudo	Técnica (cdo)	Local do estudo	Dados de extinção [Mm <sup>-1</sup> ]	Autor
1993	Transmissómetro	Gases provenientes de óleos	450nm: 9,7 630nm: 7,8 1000nm: 5,1	(41)
2002	Transmissómetro <sup>7</sup>	Ar filtrado	11,16	(31)
2002	Célula de Extinção ou White	EUA - Nevada	> 50	(75)
2002	Célula de Extinção ou White <sup>1</sup>	EUA	467nm [0,80 - 5,23] 530nm [0,94 - 8,14] 660nm [0,75 - 8,28]	(46)
2004	Transmissómetro <sup>8</sup>	Laboratório	≥ 10	(38)
2006	Transmissómetro <sup>3</sup>	EUA - Portland	532nm [20 - 90] 1064nm [10 - 76]	(29)
2007	Transmissómetro <sup>2</sup>	Reino Unido - Bristol	29,76	(36)
2007	Transmissómetro <sup>9</sup>	254nm 531nm	1,21 1,23	(35)
2008	Transmissómetro <sup>4</sup>	Reino Unido - Bristol	< 180	(37)
2009	Transmissómetro <sup>5</sup>	Reino Unido - Bristol	< 1359	(40)
2010	Transmissómetro <sup>6</sup>	Texas NO <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Com filtro 42,2 Sem filtro 43,4 Antes de filtrado 44,4 Depois de filtrado 44,3	(32)

<sup>1</sup> OEC - *Optical Extinction Cell* - 3 leds 470 nm + 530 nm + 660 nm

<sup>2</sup> OF-CRDS Diode laser (1650 nm)

<sup>3</sup> CRDT - *Cavity Ring-Down Transmissometer* - 532 nm

<sup>4</sup> OF-CRDS - *Cavity Ring-Down Spectroscopy* - Diode Laser

<sup>5</sup> CRDS Nd:YAG laser

<sup>6</sup> CRD 532 nm

<sup>7</sup> CRD + CED - *Cavity Enhanced Detection* - 532 nm

<sup>8</sup> CRD-AES Nd:YAG laser

<sup>9</sup> CRD-AES Nd:YAG laser

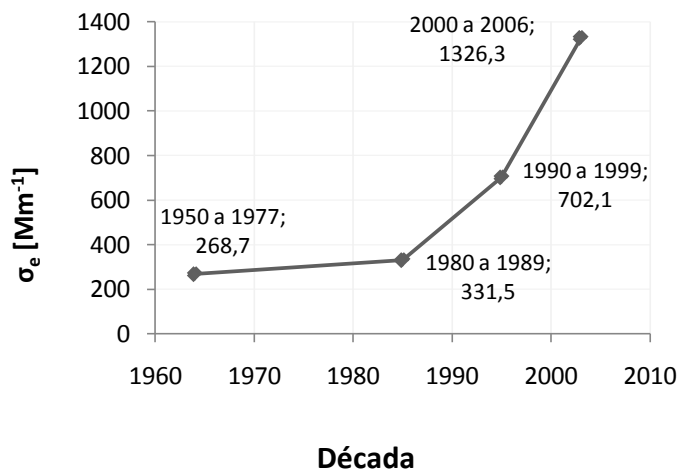


Figura 3.8 - Evolução do coeficiente de extinção ao longo do tempo.

A figura 3.8 apresenta as médias do coeficiente de extinção para o período (1950-2006), sendo que começamos com um primeiro valor de  $268,7 \text{ Mm}^{-1}$  para um período que dura cerca de 27 anos, segue-se uma nova amostra com um valor ligeiramente mais alto entre 1980 a 1989 seguindo-se uma subida mais notória a partir do ano de 1990 até ao ano de 2005, onde a média do coeficiente de extinção sobe para o valor de  $1326,3 \text{ Mm}^{-1}$  (+85,3%). Pela análise do gráfico podemos verificar que existe uma tendência para o aumento do coeficiente de extinção ao longo do período estudado.

Como já foi explicado anteriormente, um aumento no valor da extinção implica uma diminuição na visibilidade, que por sua vez pode ter diversas origens (naturais e/ou antropogénicas), entre as quais o nevoeiro, a neblina, a bruma, areias, forte precipitação e fumos, por exemplo. O aquecimento global pode ter interferência na maior parte destes parâmetros, uma vez que ao aumentar a temperatura da terra e dos oceanos, vai existir um aumento do vapor de água na atmosfera e conseqüentemente a luz terá de atravessar estas partículas provocando um aumento da extinção da luz, por outro lado, existe o reverso da medalha, uma vez que este aumento da temperatura se deveu em grande parte às concentrações crescentes de gases do efeito de estufa, resultantes por exemplo de actividades antropogénicas tais como o queimar de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) e a desflorestação. Estas são algumas das actividades que aumentaram o número de aerossóis atmosféricos que acabam por bloquear parte da radiação solar que deveria chegar ao solo.

Esta evolução é também notória na figura 3.9, onde os valores do coeficiente de extinção são superiores nas cidades quando comparados com os meios rurais.

Através da análise do gráfico verificamos então que os valores obtidos nos estudos em zonas urbanas são mais elevados que os restantes, com apenas alguns pontos coincidentes. Existe um valor máximo na zona urbana de  $9357 \text{ Mm}^{-1}$  e um valor mínimo de  $58 \text{ Mm}^{-1}$ . Quando analisamos os estudos nas zonas rurais verificamos um intervalo compreendido entre 2 a  $115 \text{ Mm}^{-1}$ , valores que vêm demonstrar que para além dos factores naturais que causam um decréscimo na visibilidade, a poluição produzida por nós humanos é igualmente prejudicial para a qualidade com que percebemos as imagens, pois nas zonas menos poluídas como os meios rurais o coeficiente de extinção é mais baixo.

Existe ainda outro factor que é importante quando se trata de medir o coeficiente de extinção que se refere ao método de medição ou seja, que valores foram medidos pelos diferentes aparelhos. A grande diversidade de técnicas existentes e a falta de estudos comparativos é um dos factores críticos na obtenção de valores de coeficientes de extinção.

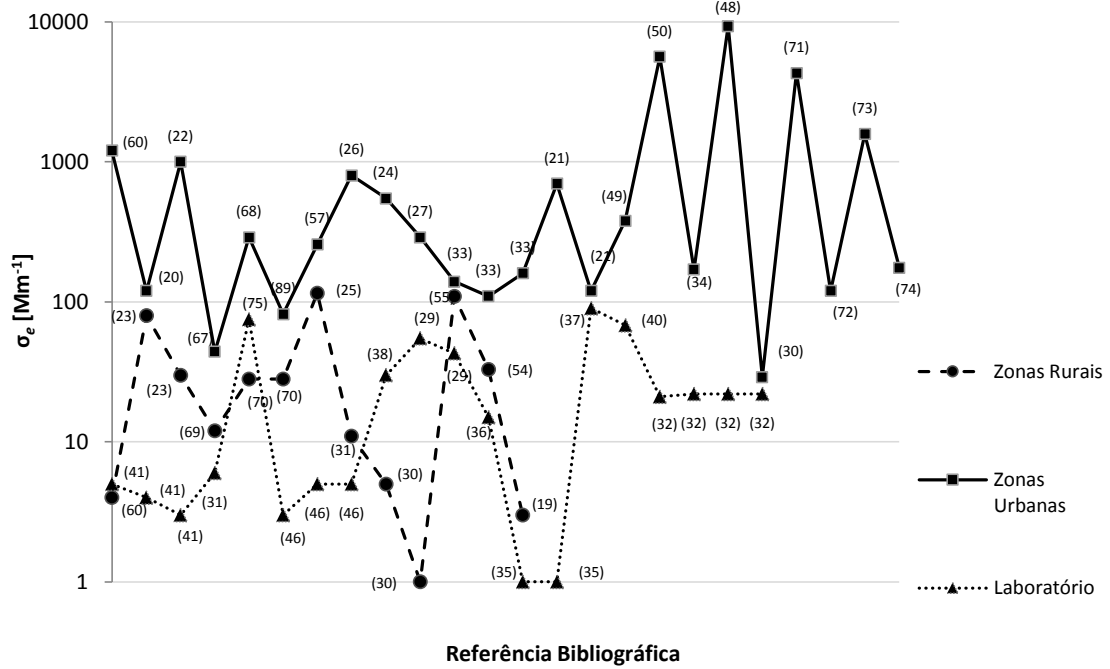


Figura 3.9 - Valor do coeficiente de extinção quando medido em zonas rurais, zonas urbanas e em laboratório. Os números entre parêntesis representam as referências dos estudos onde foram obtidos os dados.

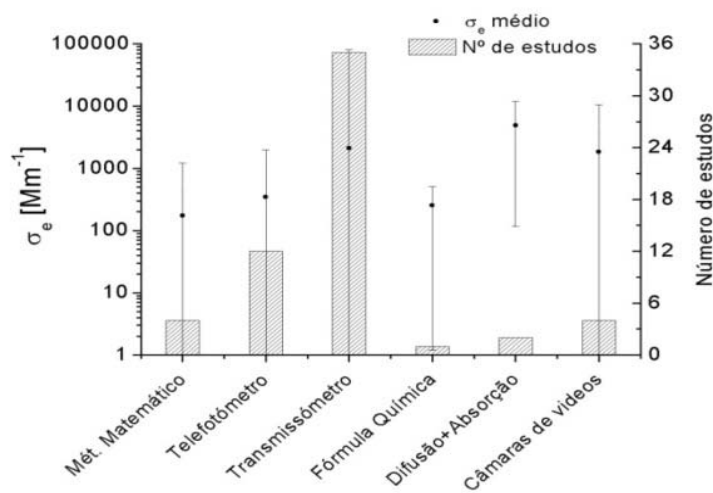


Figura 3.10 - Dados obtidos para o coeficiente de extinção pelos diversos métodos.

A figura 3.10 apresenta os resultados obtidos na nossa pesquisa em que o maior número de estudos foi realizado com o transmissómetro em 35 artigos, seguindo-se o telefotómetro com 12 estudos, as câmaras e o método matemático com 4 estudos, o método que consiste na soma da difusão com a absorção com 2 estudos e finalmente o método através da fórmula química com apenas 1 estudo encontrado. Estes números podem ter várias

justificações, entre as quais o grau de confiança que a técnica fornece e a sua facilidade de utilização. Por exemplo, o transmissómetro é um instrumento que foi sendo desenvolvido ao longo do tempo, sendo hoje em dia frequentemente utilizado, ao contrário os métodos que não medem directamente o valor da extinção e acabam por não ser tão utilizados.

Vamos então fazer uma análise por método utilizado. Começando pelo método matemático podemos verificar que dos 4 artigos encontrados o valor máximo medido foi de  $1204,8 \text{ Mm}^{-1}$  e por sua vez o menor valor foi de  $1,5 \text{ Mm}^{-1}$ . Com o telefotómetro os valores obtidos são um pouco mais altos com um máximo de  $2000,0 \text{ Mm}^{-1}$  e um valor mínimo de  $4,4 \text{ Mm}^{-1}$ . Os valores fornecidos pelo transmissómetro são os mais elevados, em todos os parâmetros, ou seja, é o método mais utilizado e também por isso é o que obtém um intervalo maior de valores. Com o transmissómetro o maior valor medido foi num estudo algo particular onde o coeficiente de extinção é medido sob condições de nevoeiro denso e portanto o valor atingido foi de  $80000,0 \text{ Mm}^{-1}$ , e o menor valor medido foi  $0,8 \text{ Mm}^{-1}$ . O método que estima o valor do coeficiente de extinção através de uma fórmula química é incomum e portanto só se conseguiu obter um estudo que obteve o valor para o máximo de  $512 \text{ Mm}^{-1}$  e o de mínimo  $1,2 \text{ Mm}^{-1}$ . Segue-se o método que soma o valor medido de absorção com o valor medida da difusão onde o maior valor obtido foi de  $12048,2 \text{ Mm}^{-1}$  e o mínimo de  $116,0 \text{ Mm}^{-1}$ . Para terminar temos representado no gráfico o método das câmaras de vídeo, com um valor máximo de  $10638,0 \text{ Mm}^{-1}$  e um valor mínimo de  $90,9 \text{ Mm}^{-1}$ .

Assim, temos representados no gráfico todos os valores obtidos nos estudos encontrados e podemos agora fazer uma análise mais específica acerca do coeficiente de extinção dos mesmos. Como foi descrito anteriormente o máximo valor medido de  $80000,0 \text{ Mm}^{-1}$  foi obtido através do transmissómetro, no entanto, pelos motivos que foram referidos anteriormente este valor não representa o coeficiente de extinção numa situação habitual e portanto podemos considerar que o valor de  $24000,0 \text{ Mm}^{-1}$  medido pelo mesmo aparelho, uma vez que as condições atmosféricas neste estudo eram mais comuns. Segue-se o método que soma a difusão com a absorção, as câmaras de vídeo, o telefotómetro, o método matemático e por fim a fórmula química. Nesta situação seria propício comentar que os métodos que obtiveram os valores mais baixos são aqueles cujo valor do coeficiente de extinção é obtido teoricamente, no entanto esta conclusão não pode ser tirada de forma tão linear uma vez que o número de estudos obtidos para este dois métodos é bastante reduzido o que não permite obter uma grande variedade de valores como é possível por exemplo no caso do transmissómetro.

Quanto ao valor mínimo obtido verificamos que todos os métodos mediram valores muito próximos de zero à excepção do método químico e do método que soma a difusão e absorção. Medir-se um valor de coeficiente de extinção próximo de zero pode significar que não há praticamente extinção da luz na atmosfera, ou seja, os raios luminosos atravessam sofrendo pouca extinção de modo que chega uma grande quantidade de energia ao detector,

por outro lado, este facto também pode estar relacionado com a sensibilidade do aparelho que está a realizar a medição, se tivermos um aparelho cujo detector seja muito sensível é provável que este vá conseguir detectar valores mesmo que estes sejam mínimos, o mesmo não se verifica para a situação inversa, ou seja, um instrumento pouco sensível não será capaz de detectar valores de extinção baixos pois o seu limiar de detecção será um valor superior (abaixo desse limiar o aparelho não detecta qualquer sinal).

#### 4. Relação entre os dados obtidos neste estudo e os dados encontrados na bibliografia

Esta última parte é dedicada à comparação entre os dados que obtivemos no nosso estudo e os dados obtidos na revisão bibliográfica. Observa-se que os nossos dados se enquadram no intervalo de valores apresentado nos estudos em zonas rurais. Assim sendo apresenta-se na tabela 3-5 um resumo dos valores do coeficiente de extinção para os dois casos.

Tabela 3-5 - Comparação estatística.

Dados estatísticos	Coeficiente de extinção do presente estudo [Mm <sup>-1</sup> ]	Coeficiente de extinção <sup>7</sup> da revisão bibliográfica (meio rural) [Mm <sup>-1</sup> ]
Máximo	396,62	200,00
Mínimo	30,06	1,50
Média	83,73	37,92

Antes de procedermos à análise da tabela é importante referir que na coluna da direita estão incluídos todos os estudos que encontrámos com medições de coeficiente de extinção em meio rural, isto implica que estejam aqui contidas medições obtidas através dos vários métodos mencionados na secção anterior.

Quando comparamos os dados estatísticos que obtivemos com os dados obtidos em outros estudos verificamos que os nossos valores são apenas ligeiramente superiores aos encontrados. Para os estudos que encontrámos o intervalo situa-se entre [1,5 - 200,00] Mm<sup>-1</sup>, no entanto, o nosso local de medição não era exactamente meio rural, pois está localizado na periferia da cidade da Covilhã, que embora pequena, apresenta alguma influência de tipo urbano.

<sup>7</sup> Foi calculada uma média entre o valor máximo medido e o valor mínimo, para cada aparelho.

## Comentários finais e linhas futuras

Neste trabalho utilizou-se uma técnica que permite medir o valor do coeficiente de extinção, e conseqüentemente também a visibilidade, na atmosfera. Neste caso, fizemos essa medição numa zona considerada rural, na periferia da cidade da Covilhã.

O coeficiente de extinção é um parâmetro de elevado interesse uma vez que interfere directamente com a percepção de tudo o que nos rodeia, e é por este mesmo motivo que se têm vindo a realizar múltiplos estudos nesta área (76,77). No entanto, foram vários os autores e os métodos utilizados para medir este parâmetro e não existe uma linha orientadora clara acerca de qual o melhor método a seguir. Falta uniformização das técnicas através de estudos comparativos entre elas (78,79,80,81,82,83,84,85,86,87).

Assim sendo, optou-se neste trabalho por utilizar o método das câmaras fotográficas devido aos bons resultados que apresentou em estudos anteriores, pela sua relativa simplicidade na utilização do instrumento e ainda por não requerer a utilização de instrumentação dispendiosa (88,89). Seleccionou-se uma paisagem e retiraram-se 41 fotografias a essa mesma paisagem sob as mais diversas condições atmosféricas, tal como era pretendido. Fez-se uma análise matemática e estatística dos valores de coeficiente de extinção obtidos e concluiu-se que existe uma ligeira tendência para este parâmetro vir a aumentar ao longo do tempo. Claro que a implicação directa deste facto é uma diminuição da visibilidade, visto que estes dois parâmetros se relacionam de forma inversa.

Para terminar este trabalho, seguem-se algumas sugestões para um trabalho futuro. Para que os valores obtidos fossem o mínimo possível influenciados pela máquina e pela sua posição, o ideal seria manter o aparelho estático durante todo o decorrer do trabalho, evitando alterações de angulação, mesmo que mínimas, nas amostras. Alternativamente poderia ser desenvolvida uma rotina de reconhecimento de formas a nível informático, que permitiria corrigir automaticamente pequenos erros de posicionamento da câmara.

No procedimento aqui exposto foi realizada apenas uma medição por dia, no entanto seria interessante a realização da medição várias vezes no mesmo dia, pois ao longo do dia os aerossóis atmosféricos variam e seria positivo avaliar o peso que esse dado teria nos resultados. Desta forma seria possível estudar a existência do ciclo diário de variações deste parâmetro.

Por uma questão de tempo não foi possível obter um número maior de amostras, mas este é um ponto importante, pois só assim podemos entender o que realmente se passa na atmosfera. O estudo de uma série temporal de dados com pelo menos um ano, permitiria a

análise de ciclos semanais, mensais e sazonais. Assim sendo, aumentar o número de fotografias é outra sugestão para o futuro.

Para terminar, uma linha de futuro que seria importante seguir consistiria em cruzar os dados obtidos com esta técnica com outros dados relativos a aerossóis atmosféricos. Por exemplo, a análise da procedência das massas de ar que atingem o nosso local de estudo pode fornecer pistas importantes que permitam explicar as subidas e descidas do coeficiente de extinção. Outro exemplo, passaria pela análise química das partículas locais que nos indicaria a contribuição relativa das partículas para a absorção e difusão.

# Bibliografia

1. Malm W. Introduction to Visibility. Fort Collins: Colorado State University; 1999.
2. Ferreira M. Óptica e Fotónica. 1st ed. Aveiro: Lidel- edições técnicas, lda; 2003.
3. Echer E, Souza M, Schuch N. A Lei de Beer aplicada na Atmosfera Terrestre. Revista Brasileira de Ensino de Física. 2001 Set; 23.
4. Hand J, Malm W. Review of the IMPROVE Equation for Estimating Ambient Light Extinction Coefficients. Report. Colorado: Colorado State University, CIRA; 2006. Report No.: ISSN 0737-5352-71.
5. Organization WM. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. 2008. revisão de trabalhos anteriores.
6. Bouchet O, Sizum H, Boisrobert C, Fornel F, Favennec P. Free-Space Optics Propagation and Communication. 1st ed. Favennec PN, editor. US: ISTE,Lda; 2006.
7. Griggs D, Jones D, Ouldrige M, Sparks W. The first WMO intercomparison of visibility measurements. Final Report. United Kingdom: World Meteorological Organization, World Weather Watch Department ; 1990. Report No.: 401.
8. Janeiro F, Wagner F, Silva A. Visibility Measurements using a Commercial Digital Camera. In Conference on Visibility, Aerosols, and Atmospheric Optics; 2006; Viena, Austria.
9. Janeiro FM,FWPMRAMS. Automated Atmospheric Visibility Measurements using a Digital Camera and Image Registration. In 1st Symposium on Environmental Instrumentation and Measurements; 2007; Romenia.
10. Janeiro F, Wagner F, Ramos P, Silva A. Atmospheric Visibility Measurements Based on a Low-Cost Digital Camera. In 6th Conference on Telecommunications; 2007; Peniche, Portugal. p. 4.
11. Iwashita , Ricci CE, Jordão D, Moreno H, Modena J, Souza J, et al. O setor eléctrico. [Online].; 2006 [cited 2011 Mai 2]. Available from: <http://www.osetoelettrico.com.br/web/component/content/article/58-artigos-e-materias-relacionadas/326-o-espectro-das-fontes-de-luz-e-os-niveis-baixos-de-iluminacao-o-basico.html>.
12. Catarina UFdS. Arquitetura e Urbanismo. [Online].; 2006 [cited 2011 Fev 2]. Available

- from:  
[http://www.arq.ufsc.br/labcon/arq5656/Curso\\_Iluminacao/07\\_cores/imagens/sensitividade\\_visao\\_cor.jpg](http://www.arq.ufsc.br/labcon/arq5656/Curso_Iluminacao/07_cores/imagens/sensitividade_visao_cor.jpg).
13. Santana C, Oiwa N, Costa M, Tiedemann K, Silveira L, Ventura D. Espaço das Cores. *Psicologia USP*. 2006 Abr; 17(4): p. 35-62.
  14. Sousa P. Coimbra é nossa. [Online].; 2007 [cited 2011 Fev 2]. Available from: <http://coimbraenossa.blogspot.com/2007/03/escala-de-cinzentos.html>.
  15. Sacek V. Notes on AMATEUR TELESCOPE OPTICS. [Online].; 2006 [cited 2011 Mai 3]. Available from: [http://www.telescope-optics.net/aberrations\\_extended.htm](http://www.telescope-optics.net/aberrations_extended.htm).
  16. Mogo S. Fundamentos de Optometria. 2010 Janeiro. Sebenta.
  17. Moreira S. Desenvolvimento da sensibilidade ao contraste de luminância espacial e temporal. 2010. Dissertação de mestrado.
  18. Gadelha M, Andrade M, Ferreira O, Freire R, Santos N. Sensibilidade ao contraste acromático para grades senoidais verticais em adolescentes e adultos. *Psicologia Teoria e Prática*. 2010; 12: p. 59-70.
  19. Casperson L. Light extinction in polydisperse particulate systems. *Applied Optics*. 1977 Dez; 16.
  20. Porch W, Galloway T, Green T, Ellaesser H. Long path optical extinction and meteorology in the San Francisco Bay Area. *Atmospheric Environment*. 1981; 15: p. 2555-2560.
  21. Trier A, Cabrini N, Ferrer J, Olaeta I. Correlations between urban atmospheric light extinction coefficients and fine particle mass concentrations. *Atmósfera*. 1997 Oct 6; 10: p. 151-160.
  22. Horvath H. The University of Vienna Telephotometer. *Atmospheric Environment*. 1981 Jul 14; 15(12): p. 2537-2546.
  23. Horvath H. Spectral extinction coefficients of background aerosols in Europe, North and South America: a comparison. *Atmospheric Environment*. 1991; 25A(3/4): p. 725-732.
  24. Horvath H, Trier A. A study of the aerosol of Santiago do Chile - I. Light extinction coefficients. *Atmospheric Environmental*. 1993; 27A(3): p. 371-384.

25. Horvath H. Spectral extinction coefficients of rural aerosol in southern Italy - a case study of cause and effect of variability of atmospheric aerosol. *J. Aerosol Sci.* 1996; 27: p. 437-453.
26. Trier A, Horvath H. Atmospheric Extinction in Santiago, Chile. *Journal Aerosol Science.* 1989; 20: p. 1197-1200.
27. Trier A, Horvath H. A study of the aerosol of Santiago de Chile-II. Mass extinction coefficients, visibility and angstrom exponents. *Atmospheric Environmental.* 1993; 27A(3): p. 385-395.
28. Clark R, inventor; Method and Apparatus for Measuring Visibility from the Polarization Properties of the Daylight Sky. Calif. patent 4.362,387. 1980 Ag 22.
29. Radney J, Bazargan M, Wright M, Atkinson D. Laboratory validation of aerosol extinction coefficient measurement by a field-deployable pulsed cavity ring-down transmissometer. *Aerosol Science and Technology.* 2009 Sep 16; 43: p. 71-80.
30. Pettersson A, Lovejoy E, Brock C, Brown S, Ravishankara A. Measurement of aerosol optical extinction at 532nm with pulsed cavity ring down spectroscopy. *Journal of Aerosol Science.* 2004 Feb 6; 35: p. 995-1011.
31. Moosmuller H, Varma R, Arnott W. Cavity Ring-Down and Cavity-Enhanced detection techniques for the measurement of aerosol extinction. *Aerosol Science and Technology.* 2005 Oct 27; 39: p. 30-39.
32. Dial K, Hiemstra S, Thompson J. Simultaneous measurement of optical scattering and extinction on dispersed aerosol samples. *Analytical Chemistry.* 2010 Oct 1; 82(19): p. 7885-7896.
33. Wrana K, Jessen W, Kohle A, Clement D, Hohn D. Atmospheric transmittance measurements of Nd: YAG, IODINE and CO<sub>2</sub> Laser radiation over 8.6km, and statistical analysis of extinction coefficients. *Infrared Phys. Technol.* 1995; 36(1): p. 513-528.
34. Smith J, Atkinson D. A portable pulsed cavity ring-down transmissometer for measurement of the optical extinction of the atmospheric aerosol. *Analyst.* 2001; 126: p. 1216-1220.
35. Garland R, Ravishankara A, Lovejoy E, Tolbert M, Baynard T. Parameterization for the relative humidity dependence of light extinction: Organic-ammonium sulfate aerosol. *Journal of Geophysical Research.* 2007; 112: p. 1-11.

36. Butler T, Miller J, Ewing A. Cavity ring-down spectroscopy measurements of single aerosol particle extinction. I. The effect of position of a particle within the laser beam on extinction. *The Journal Of Chemical Physics*. 2007; 126: p. 174302.
37. Butler T, Mellon D, Kim J, Litman J, Orr-Ewing A. Optical-feedback cavity ring-down spectroscopy measurements of extinction by aerosol particles. *J. Phys. Chem.* 2009; 113: p. 3963-3972.
38. Baynard T, Lovejoy E, Pettersson A, Brown S, Lack D, Osthoff H, et al. Design and application of a pulsed cavity ring-down aerosol extinction spectrometer for field measurements. *Aerosol Science and Technology*. 2007; 41: p. 447-462.
39. Massoli P, Kebedian P, Onasch T, Hills F, Freedman A. Aerosol light extinction measurements by cavity attenuated phase shift (CAPS) spectroscopy: Laboratory validation and field deployment of a compact aerosol particle extinction monitor. *Aerosol Science and Technology*. 2010; 44: p. 428-435.
40. Miles R, Rudic S, Orr-Ewing A, Reid J. Measurements of the wavelength dependent extinction of aerosols by cavity ring down spectroscopy. *Physical Chemistry Chemical Physics*. 2010; 12: p. 3914-3920.
41. Dobbins R, Mulholland G, Bryner N. Comparison of a fractal smoke optics model with light extinction measurements. *Atmospheric Environment*. 1994; 28: p. 889-897.
42. Brusaglioni P, Fante G, Ismaelli A, Porto L, Zaccanti G. A Variable Angular Field-of-view Transmissometer and Its Use to Monitor Fog Conditions. *Optic Acta*. 1984; 31: p. 589-601.
43. Malm W, Persha G, Molenaar J. Long-path transmissometer for measuring ambient atmospheric extinction. *Environment and Pollution Measurement Sensors and Systems*. 1990; 37.
44. L. L, Chen J, Chen H, Tang Y, Yang X, Zhang R. Monitoring optical properties of aerosols with cavity ring-down spectroscopy. *Journal Aerosol Science*. 2011 Feb.
45. Systems OSE. OPAL SINGAPORE ENVIRONMENTAL SYSTEMS. [Online].; 2009 [cited 2011 Feb 3]. Available from: <http://opalenvironmental.com.sg/technology.html>.
46. Virkkula A, Ahlquist N, Covert D, Sheridan P, Arnott W, Ogren J. A three-wavelength optical extinction cell for measuring aerosol light extinction and its application to determining light absorption coefficient. *Aerosol Science and Technology*. 2005; 39.

47. Weiss R, Hobbs P. Optical extinction properties of smoke from the Kuwait oil fires. *Journal of Geophysical Research*. 1992 Sep 20; 97(D13): p. 14,537 - 14,540.
48. Dayan U, Levy I. The influence of meteorological conditions and atmospheric circulation types on PM10 and visibility in Tel Aviv. *Journal of Applied Meteorology*. 2004 Nov 11; 44: p. 606-618.
49. Dubovoi S. Aerosol impacts on visible light extinction in the atmosphere of Mexico City. *The Science of the Total Environment*. 2002 Jul 16; 287: p. 213-220.
50. Xingsheng X, Shanchang T, Xiuji Z. Measuring visibility using digital photography. *Chinese Science Bulletin*. 1999 Jun; 44.
51. Wuller D, Gabele H. The usage of digital cameras as luminance meters. *SPIE-IS&T*. 2007; 6502.
52. Kwon T. Atmospheric Visibility Measurements using Video Cameras: Relative Visibility. St. Paul, Minnesota: University Of Minnesota Duluth, Department of Electrical and Computer Engineering University of Minnesota Duluth; 2004.
53. Hallowell R, Matthews M, Pisano P. Automated extraction of weather variables from camera imagery. In *Mid-Continent Transportation Research Symposium*; 2005; Iowa. p. 13.
54. Hautière N, Babari R, Dumont É, Brémond R, Paparoditis N. Estimating meteorological visibility using cameras: a probabilistic model-driven approach. In *Asian Conference on Computer Vision*; 2010; Paris. p. 11.
55. Xie L, Chiu A, Newsam S. Estimating Atmospheric Visibility Using General-Purpose Cameras. In *ISVC '08 Proceedings of the 4th International Symposium on Advances in Visual Computing, Part II*; 2008; Berlin. p. 356-367.
56. Halloweel R. Road Weather MDSS. [Online].; 2001 [cited 2011 Nov 17] [Power point]. Available from: [http://www.rap.ucar.edu/projects/rdw\\_x\\_mdss/meetings/plans\\_reviews/reviews/II/II\\_video\\_imagine\\_rev3.pdf](http://www.rap.ucar.edu/projects/rdw_x_mdss/meetings/plans_reviews/reviews/II/II_video_imagine_rev3.pdf).
57. Countant B, Kelly T, Ma J, Scott B, Wood B, Main H. Source Apportionment Analysis of Air Quality Monitoring Data: Phase 1. Final Report. US: MANE-VU; 2002.
58. Stjern C, Stohl A, Kristjánsson J. Have aerosols affected trends in visibility and precipitation in Europe? *Journal of Geophysical Research*. 2011; 116.

59. Commission IE. Multimedia systems and equipment - Colour measurement and management - Part 2-1: Colour management - Default RGB colour space - sRGB. 1999. Norma IEC 61966-2-1 ed1.0.
60. Doyle M, Dorling S. Visibility trends in the UK 1950-1997. *Atmospheric Environment*. 2002 Mar; 36: p. 3161-3172.
61. Loureiro J. José Loureiro photography. [Online].; 2010 [cited 2011 Maio 5]. Available from: <http://joseloureirophotography.blogspot.com/2010/04/ruido-na-imagem-5-perguntas-5-breves.html>.
62. Hedgecoe J. *The Photographer's Handbook* New York: Knopf; 1981.
63. Wikipédia. Wikipédia. [Online].; 2009 [cited 2011 Maio 7]. Available from: <http://en.wikipedia.org/wiki/Vignetting>.
64. Walree Pv. Tooth walker. [Online].; 2002 [cited 2011 Maio 8]. Available from: <http://toothwalker.org/optics/vignetting.html>.
65. Douglas A. Derivation of the "Cosine Fourth" Law for Falloff of Illuminance Across a Camera Image. 2007 Mai 1. Report.
66. Verdú FM. Diseño de un Colorímetro Tríestímulo a partir de una cámara CCD-RGB. 2001. Tese Doutoramento.
67. Harrison A, Murdock L. Perception Visual Range and Sky Background. *Atmosphere-Ocean*. 1982; 20(2): p. 116-128.
68. Vizee W, Evans W. Automated measurements of atmospheric visibility. *Journal of Climate and Applied Metereology*. 1983 Mai; 22.
69. Malm W, Molenaar J, Eldred R, Sisler J. Examining the relationship among atmospheric aerosols and light scattering and extinction in the Grand Canyon area. *Journal of Geophysical Research*. 1996 Aug; 101: p. 19,251 - 19,265.
70. Malm W, Huffman J, Cahill R. Spatial and seasonal trends in particle concentration and optical extinction in the United States. *Journal of Geophysical Research*. 1997 Jan 20; 99(D1): p. 1347-1370.
71. Lee J, Kim Y, Kuk B, Geyer A, Platt U. SIMULTANEOUS MEASUREMENTS OF ATMOSPHERIC POLLUTANTS AND VISIBILITY WITH A LONG-PATH DOAS SYSTEM IN URBAN AREAS. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2005; 104: p. 281-293.

72. Baumer D, Versick S, Vogel B. Determination of the visibility using a digital panorama camera. *Atmospheric Environment*. 2008; 42: p. 2593-2602.
73. Panyaping K. Visibility measurement for air quality monitoring and estimation of atmospheric particulate matter in a Basin of Thailand. In 3rd WSEAS International Conference; 2009; Espanha. p. 3.
74. Mogili P, Yanh K, Young M, Kleiber P, Grassian V. Environmental aerosol chamber studies of extinction spectra of mineral dust aerosol components: Broadband IR-UV extinction spectra. *Journal of Geophysical Research*. 2007; 112.
75. Sheridan P, Arnott W, Ogren J, Andrews E, Atkinson D, Covert D, et al. The Reno Aerosol Optics Study: An Evaluation of Aerosol Absorption Measurement Methods. *Aerosol Science and Technology*. 2005 Oct 22; 39: p. 1-16.
76. Seinfeld J, Pandis S. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 1st ed. US: Wiley-Interscience; 1998.
77. Kokhanovsky A. *Aerosol Optics*. 1st ed. Alemanha: Springer; 2008.
78. Redmond H, Dial K, Thompson J. Light scattering and absorption by wind blown dust: Theory, measurement. *Aelian Research*. 2010; 2: p. 5-26.
79. Praveen M, Yang K, Young M, Kleiber P, Grassian V. Environmental aerosol chamber studies of extinction spectra of mineral dust aerosol components: Broadband IR-UI extinction spectra. *Journal of Geophysical Research*. 2007 November; 112: p. D21204.
80. Malm W. *Introduction to Visibility*. 1st ed. Colorado; 1999.
81. Hand J, Kreidenweis S, Sherman D, Collett J, Hering S, Day Dea. Aerosol size distributions and visibility estimates during the Big Bend regional aerosol and visibility observational (BRAVO) study. *Atmospheric Environment*. 2002 Jul 3; 36: p. 5043-5055.
82. Gerber H, Hindman E. *Light Absorption by Aerosol Particles*. 1st ed. Virginia: Spectrum Press; 1982.
83. Caldas N. *Modelação da Interação da Radiação com o Meio em Sistemas de Combustão*. 2005 Nov. Tese de Doutoramento.
84. Buyukbas E, Yalcin L, Dag Z, Karatas S. Training material on automated weather observing systems. World Meteorological Organization; 2006.

85. Agency USEP. Protecting Visibility. Epa report to congress. Califórnia:, Office of Air Quality, Planning, and Standards; 1979.
86. Moosmuller H, Mazzoleni C, Barber P, KUHNS H, KEISLAR R, WATSON J. On-Road Measurement of Automotive Particle Emissions by Ultraviolet Lidar and Transmissometer: Instrument. Environ. Sci. Technol. 2003; 37: p. 4971 - 4978.
87. Choi M, Mulholland G, Hamins A, Kashiwagi T. Comparisons of the soot volume fraction using gravimetric and light extinction techniques. Combustion and Flame. 1995; 102: p. 161-169.
88. Baumer D, Versick S, Vogel B. Determination of the Visibility using a digital panorama camera. In Conference on Visibility, Aerosols, and Atmospheric Optics; 2006; Viena, Austria. p. 1-14.
89. Elias T, Silva A, Belo N, Pereira S, Formenti P, Helas G, et al. Aerosol extinction in a remote continental region of the Iberian Peninsula during summer. Journal of Geophysical Research. 2006 July 20; 111 , D14204: p. doi:10.1029/2005JD006610.
90. Casteleiro J. Dicionário da Língua Portuguesa Contemporânea. II ed. Verbo , editor. Lisboa: Academia das Ciências de Lisboa; 2001.