

A Fotografia

Aloísio Freiria Neves * °

Professor do DM UNICAMP Aposentado

Fotografia, foto-grafia, **a arte de escrever com a luz**, é um tema cativante tanto para profissionais como para amadores, envolve dons artístico, teorias e técnicas de ótica, engenharia, geometria, matemática, etc. O texto é para aqueles que querem utilizar a câmera ou o celular além das fotografias automáticas, querem tirar do equipamento o máximo que podem dar na busca da beleza.



As câmeras fotográficas e os celulares estão a cada dia mais sofisticados tanto no hardware como no software, possuem modos automáticos de regulagem que produzem fotos sensacionais, porém entender os fundamentos da fotografia, as diferenças dos equipamentos e os parâmetros de regulagem: **Lentes, Distâncias focais, Velocidade, Abertura, ISO, Profundidade de Campo, ...**, são essenciais para o bom uso e ajuda na hora da compra.

Vamos iniciar analisando os caminhos percorridos pela luz quando atravessam uma lente.

* aloisio@unicamp.br

nevesaloisio@gmail.com

°Agradeço C. Panazio pelas sugestões e comentários.

1. Lentes

Um experimento que talvez todos já fizeram é colocar uma lente no sol com os raios incidindo perpendicularmente na lente e observaram que os raios convergem para um ponto, chamado de foco, veja a foto abaixo. Os raios de sol são refratados pela lente e convergem para o foco. Cuidado, não coloquem na mão, pode queimar e pode pegar fogo se o material for inflamável.



Os raios de Sol chegam na terra paralelos, a terra é muito pequena em relação ao tamanho do Sol; comparativamente se o Sol for do tamanho de uma bola de basquete a Terra será do tamanho de uma ponta de lápis, portanto somente os raios que saem do sol na mesma direção “acertam” a Terra. O primeiro cientista a perceber esse fato e utilizá-lo no cálculo do tamanho da Terra foi Eratóstenes, o pai da Geografia, que nasceu em Cirene (atual Líbia) em 276 aC.

Quando raios de luz incidem sobre uma lente eles sofrem refração (desvio de direção) que pode ser determinado pela lei de Snell. Aqui não vamos entrar em detalhes teóricos, vamos apenas mostrar através de um desenho os caminhos percorridos por alguns raios luz, chamados de raios notáveis.

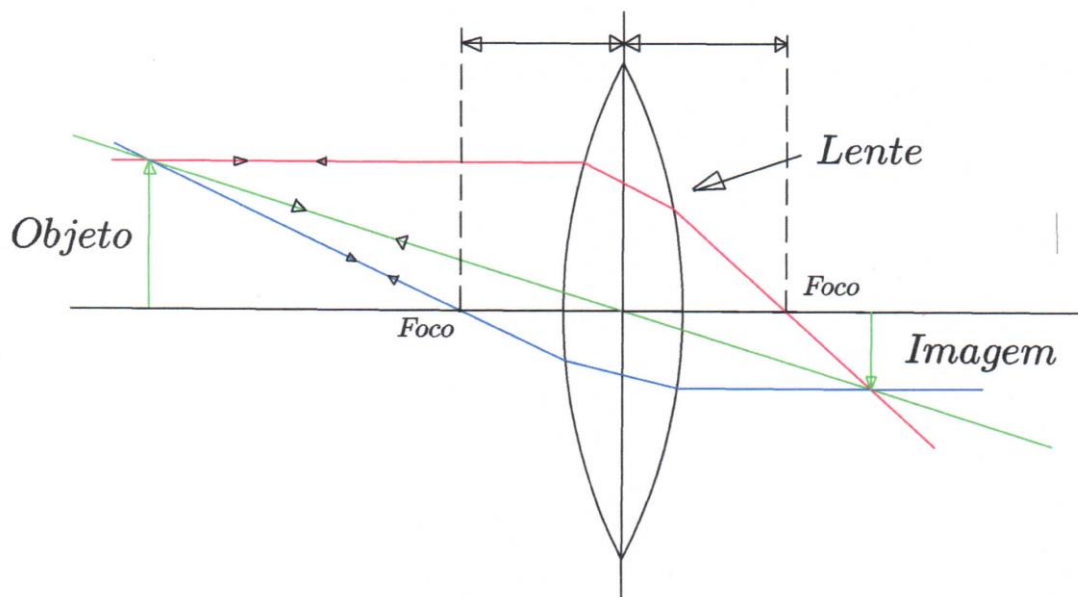


Figura 1

Observe que:

1. Os raios percorrem o mesmo caminho independentemente do sentido de percurso, para a direita ou para a esquerda.
2. Os raios que saem paralelos ao eixo (tanto na esquerda como na direita) são refratados e convergem para o foco.
3. Os raios na direção do centro óptico não sofrem desvios. Na realidade eles sofrem um pequeno desvio lateral, que é proporcional à espessura da lente. Para lentes finas esse desvio é muito pequeno e é desprezado.
4. Os raios que saem de um ponto do objeto (na esquerda) depois que são refratados pela lente se encontram num mesmo ponto, à direita do foco. **Esse encontro dos raios é o princípio da fotografia**

2. A Câmera Fotográfica

Resumidamente, a câmera fotográfica é composta de lente, diafragma, obturador e sensor. O diafragma é parte do corpo da lente, o obturador e o sensor são partes do corpo da câmera. Veja a figura.

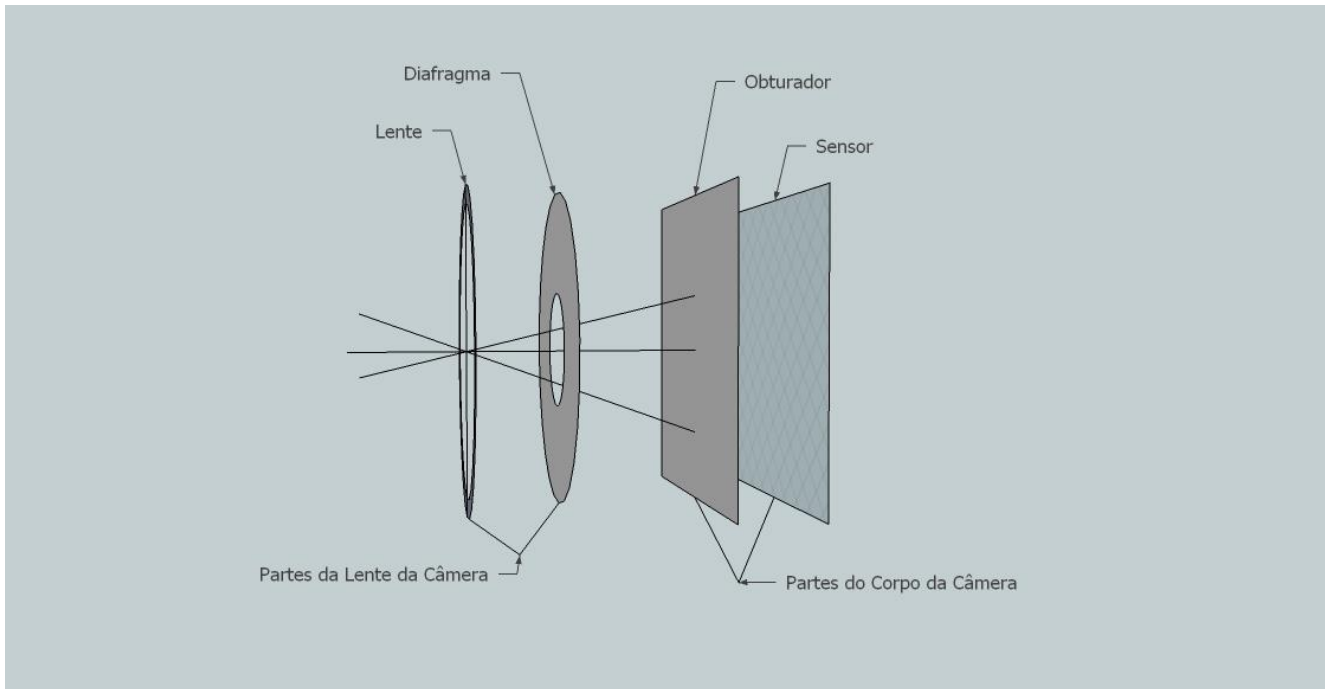


Figura 2

O diafragma tem uma abertura circular que controla a quantidade de luz que entra na câmera. O obturador bloqueia os raios de luz para que não cheguem no sensor. Quando acionamos do botão o obturador abre e fecha rapidamente, a luz passa e a imagem é registrada no sensor. As imagens são gravadas no sensor e armazenadas na câmera.

Como vimos na figura 1, os raios de luz que saem de um mesmo ponto do objeto se encontram depois que são refratados pela lente, **essa região de encontro dos raios é onde o sensor deve estar para que a imagem gravada seja nítida.** A qualidade da imagem é determinada pelo número de pixels do sensor, depende do equipamento e da regulagem utilizada, a faixa normal é de 4 a 18 mega pixel (MP), mas pode chegar a valores bem mais altos. Para fotos normais, que não serão muito ampliadas, a qualidade de 8 MP dá bons resultados, agora fotos com maior qualidade tem seu preço, ocupam muito espaço de armazenamento..

As figuras abaixo mostram como as imagens são registradas no sensor

Figura 3

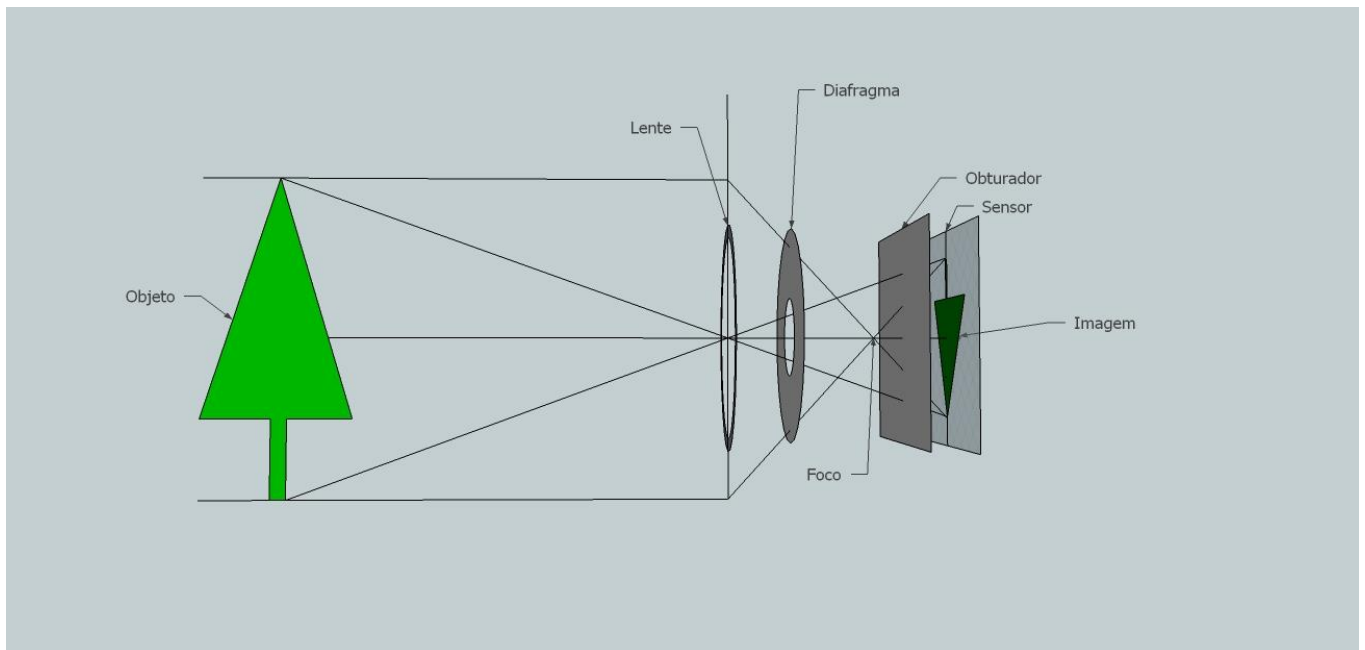
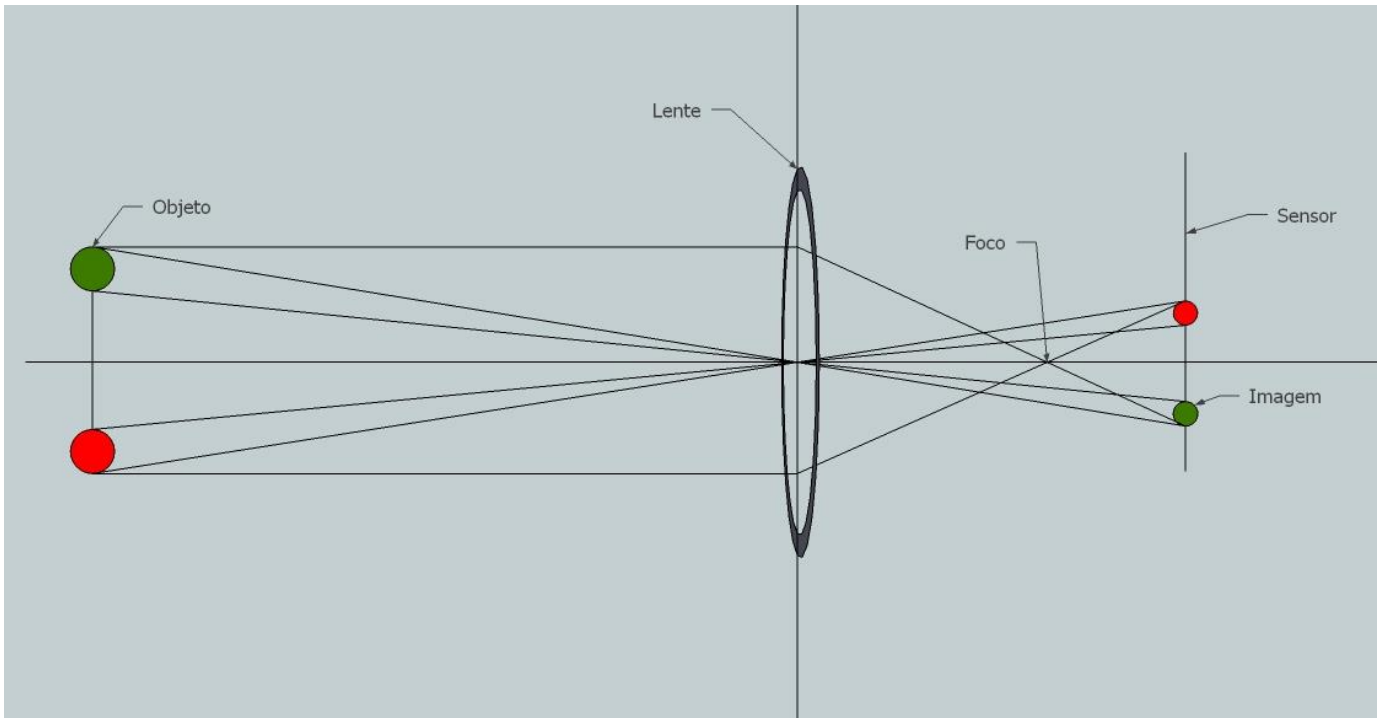
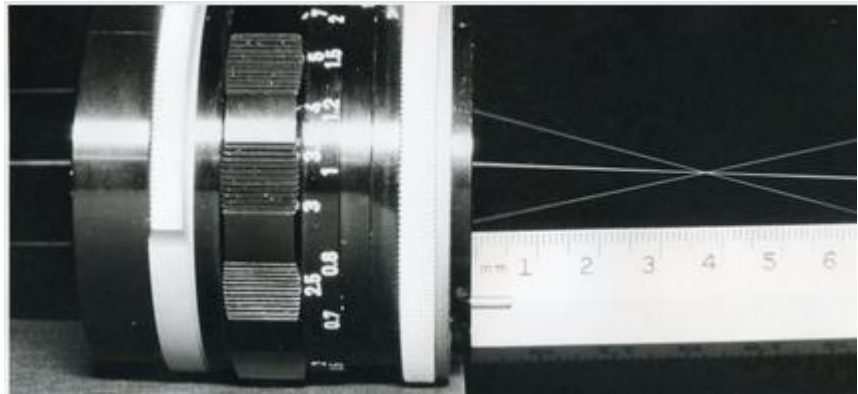
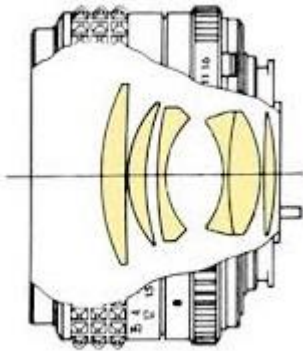


Figura 4

Vamos escolher uma lente para ilustrar o texto: Minolta 1:1.7, $f=50\text{mm}$, é uma boa lente, próxima do olho humano, veja as fotos.



Ela possui um conjunto de lentes conforme ilustra a figura abaixo



Fontes das imagens:

<http://artaphot.ch/minolta-sr/objektive/156-minolta-50mm-f17>

https://www.dagcamera.com/store/p314/Light_Path_Enterung_Lens_to_Prism_%26_Film.html.

Como vimos acima as lentes fotográficas são construídas com conjuntos de lentes e tecnologias sofisticadas, mas para mostrar os princípios da fotografia podemos utilizar figuras com uma lente só.

3. Velocidade do Obturador (1/15, 1/30, 1/60, 1/125, ... 1/4.000)

O obturador regula o tempo de exposição da luz no sensor. As velocidades de abrir e fechar do obturador são medidas em frações de segundo. Velocidades lentas permitem a passagem de mais luz e são usadas para fotografia noturna ou em ambientes com pouca luz. Essas velocidades podem produzir fotos tremidas, exigem firmeza da câmera e talvez o uso do tripé. Velocidade rápidas permitem menos luz e exigem ambientes bem iluminados, essas velocidades congelam o movimento e evita fotos tremidas.

4. Distâncias focais (14mm...35mm; 40...85mm; 75...300; ...

Aberturas (1:1,4; 1,2, 1:2,8; 1:4; 1:5,6; 1:8; 1:11, 1:16; 1:22)

4.1 Distâncias Focais

Para colocar um objeto em foco movemos a lente para frente ou para trás, esse é o movimento que a lente faz quando giramos o anel de distâncias. A ilustração abaixo mostra dois objetos, as respectivas posições das lentes e as imagens geradas no sensor.

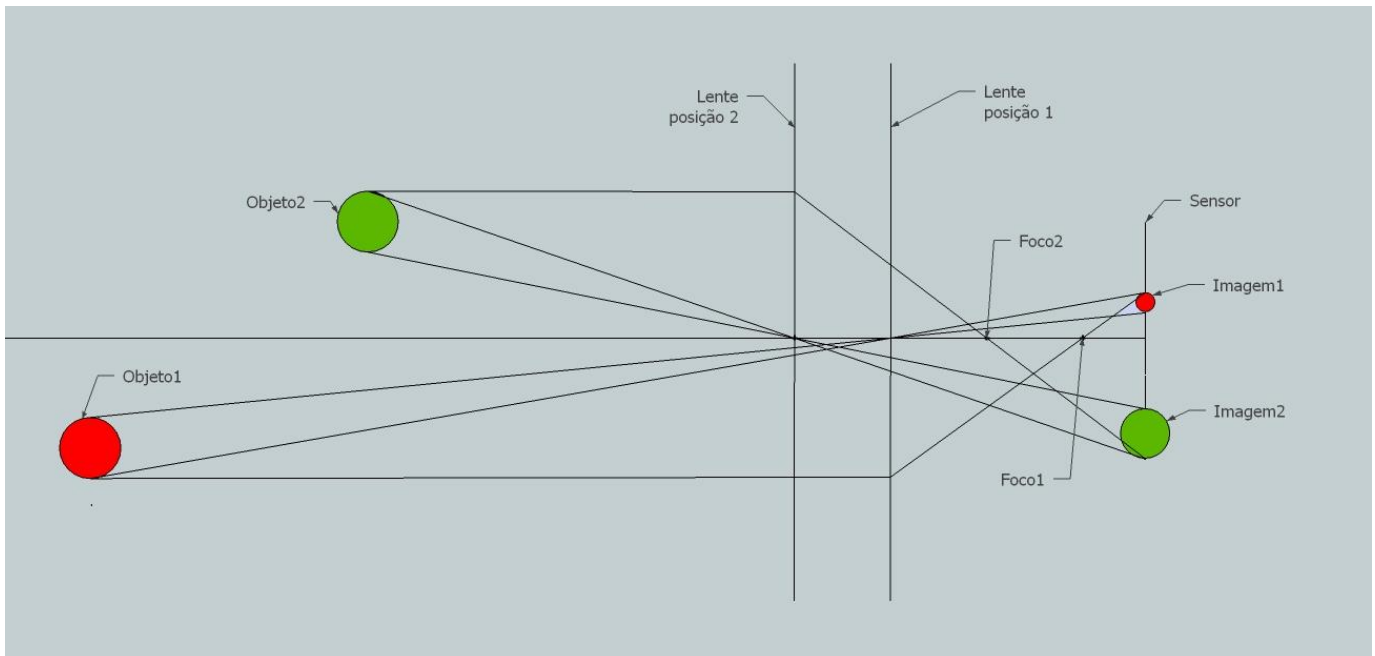


Figura 5

Chamamos de **Distâncias Focais** as **distâncias entre lente e objeto e entre lente e sensor**. Essas duas distâncias estão conectadas, quando uma aumenta a outra diminui, essa conexão pode ser observada na Figura 5 e justificada usando a equação das lentes, que é dada por

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{o} + \frac{1}{i} \quad (1)$$

onde f é a distância focal da lente, “ o ” é a distância lente-objeto e “ i ” é a distância lente-imagem. O lado esquerdo da equação é uma constante, logo se aumentarmos uma das distâncias a outra terá que diminuir para que a igualdade seja satisfeita.

Para a lente Minolta, $f = 50mm$, temos

$$\frac{1}{50} = \frac{1}{o} + \frac{1}{i}$$

Esta equação é conhecida como “Gaussian lens formula” e foi descoberta por Edmund Halley em 1693.
Fonte: <https://scienceworld.wolfram.com/physics/ThinLensFormula.html>.

O objeto vermelho tem distância o maior, distância i menor e imagem também menor. Podemos perguntar: o que acontece se formos aumentando a distância o do objeto vermelho? A resposta é que a imagem vai diminuindo e se aproximando do ponto de foco, o limite é o ponto de foco, portanto a **distância lente-foco** é chamada de **distância focal mínima**. A justificativa teórica desse fato segue da equação das lentes (1), se fizermos o tender para infinito, a fração $1/o$ tende a zero, logo obtemos da equação das lentes

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{i} \Rightarrow i = f$$

Podemos fazer um experimento, ajuste uma lente na sua maior distância ∞ e na sua maior abertura, depois coloque no sol para obter seu ponto focal. Como nesse caso $i = f$, o ponto de foco deve ficar na região de sensor. Na lente Minolta que estamos usando como modelo, a distância lente-foco medida no experimento deu quase 50mm (foto abaixo), logo o elemento focal dessa lente está na parte inferior. Lentes com maiores distâncias focais tem o elemento focal no seu interior.



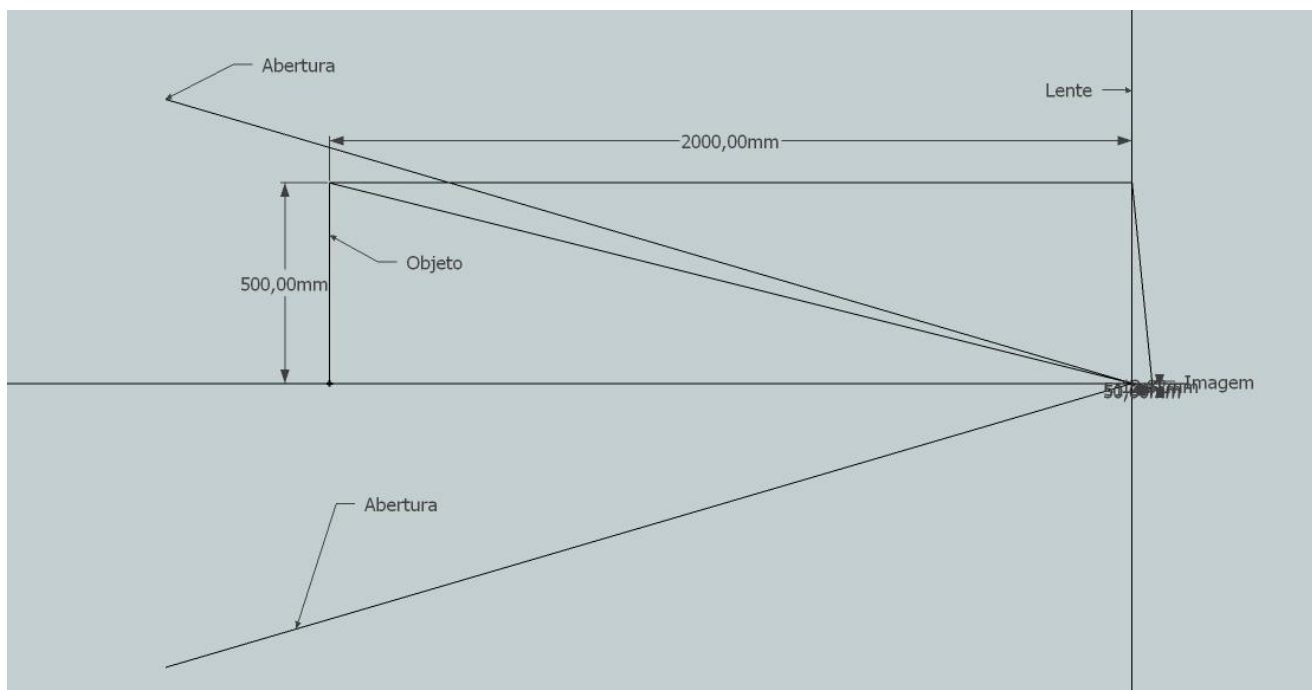
As distâncias focais o e i são importantes para entender como as imagens são formadas e como elas são ampliadas (veja o item teleobjetivas abaixo). Nas lentes fotográficas, a distância focal i é pequena, está no interior da câmera+lente, e a distância focal o é grande, o objeto pode estar distante. Vamos exemplificar

calculando essas distâncias no caso da lente Minolta 1:1,7 - $f=50\text{mm}$. Considere um objeto de 500mm de altura e a 2.000mm de distância da lente. Pela equação das lentes podemos determinar a distância i

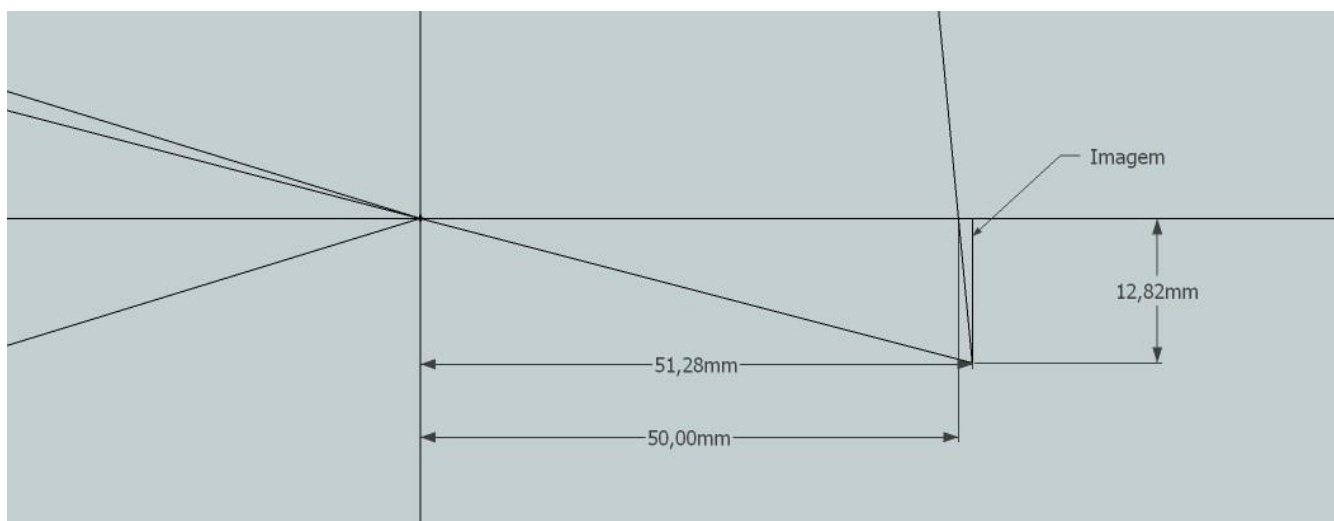
$$\frac{1}{50} = \frac{1}{2000} + \frac{1}{i} \Rightarrow \frac{1}{i} = \frac{1}{50} - \frac{1}{2000} = \frac{40 - 1}{2000} \Rightarrow \frac{1}{i} = \frac{39}{2000}$$

$$i = \frac{2000}{39} = 51,28\text{mm}$$

A figura abaixo mostra as distâncias e também a abertura da lente, assunto que veremos na próxima seção.

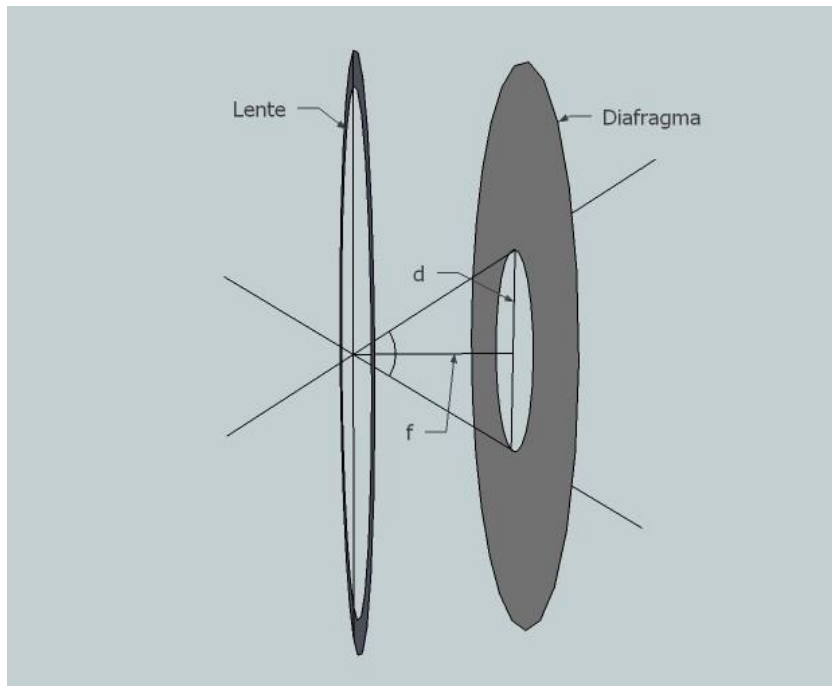


Para ver a região da imagem precisamos dar um zoom (figura abaixo), vemos a distância focal $i = 51,28\text{mm}$ (que confere com o resultado obtido pela equação) e o tamanho da imagem = $12,82\text{mm}$.



4.2 Abertura

A abertura de um feixe de luz que entra na câmara pode ser medida pelo ângulo formado ou pela razão entre o diâmetro da abertura d e a distância focal f . A figura abaixo ilustra a abertura.



Na fotografia as aberturas são definidas pela razão $d:f$, conhecidas como proporções focais ou f-stops, são dadas na forma 1:1,4; 1:2; 1:2,8; 1:4, ... **A abertura 1:1,4 significa ter 1mm de diâmetro do diafragma para cada 1.4 de distância focal f** , portanto pela proporcionalidade, para uma lente que tem distância focal f , d deve satisfazer

$$\frac{1}{1,4} = \frac{d}{f} \Rightarrow d = \frac{1}{1,4} f$$

Observe que **quanto menor for f maior será a abertura**, logo as aberturas 1:1,4; 1:1,7; 1:2; 1:2,8 são as maiores e lentes que possuem essas aberturas são lentes ótimas, claras e também mais caras.

Exemplo: para a lente a Minolta 1:1.7 $f = 50\text{mm}$ temos que a abertura é

$$d = \frac{1}{1,7} 50 = 29,4 \text{ mm.}$$

Da mesma forma as aberturas 1:5,6 e 1:16 tem diâmetros dados por

$$d = \frac{50}{5,6} = 8,9 \text{ mm} \quad e \quad d = \frac{50}{16} = 3,125 \text{ mm}$$

As fotos mostram as aberturas 1:1,7, 1:5,6 e 1:16.



Dado o valor da razão d/f , se quisermos determinar o ângulo α da abertura devemos calcular

$$\alpha = 2 \arctg \left(\frac{1}{2} \frac{d}{f} \right)$$

Para a lente Minolta $d:f = 1:1,7$ temos $\alpha = 0,572 \text{ rad} = 32,8^\circ \text{ C}$.

Uma pergunta que talvez todos tenham é: por que a escolha desses números **1:1,4**, **1:2**, **1:2,8**, **1:4**, **1:5,6**, **1:8**, **1:11**, **1:16**, **1:22**, aparentemente estranhos? A resposta é porque com essa escolha temos que na lente **1:1,4** entra o dobro de luz do que na **1:2**, que por sua vez entra o dobro que na **1:2,8**, e assim por diante.

A justificativa é que a entrada de luz depende do tamanho da área do círculo do diafragma. A área de um círculo é dada por $A = \pi R^2$, logo se quisermos dobrar a área do círculo,

$$2A = 2\pi R^2 = \pi(\sqrt{2}R)^2$$

devemos multiplicar o raio por $\sqrt{2} \cong 1,4$. Se quisermos dobrar novamente devemos multiplicar novamente por $\sqrt{2}$, o que dá $(\sqrt{2})^2 = 2$, assim sucessivamente vamos obtendo as potências de $\sqrt{2}$, que são:

$$\sqrt{2} \cong 1,4, (\sqrt{2})^2 = 2, (\sqrt{2})^3 \cong 2,8, (\sqrt{2})^4 \cong 4, (\sqrt{2})^5 \cong 5,6,$$

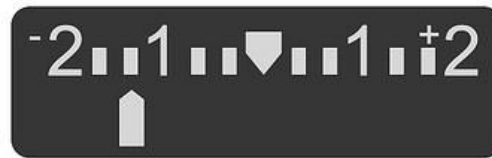
$$(\sqrt{2})^6 \cong 8, (\sqrt{2})^7 \cong 11, (\sqrt{2})^8 \cong 16, (\sqrt{2})^9 \cong 22$$

5. ISO (100, 200, 400, 800, 1.600, 3200, ...)

ISO (International Organization for Standardization, tomou o lugar da antiga ASA) é um número diretamente proporcional a sensibilidade do filme, ou do sensor, à luz. É o responsável para a fotografia ficar mais clara ou mais escura e controla o ruído da foto. Números menores representam imagens mais escuras, enquanto os números maiores representam imagens mais claras. No entanto aumentar o ISO tem um custo, pois vai aumentar a sensibilidade, mas aumenta também o ruído das imagens.

A maioria das câmeras fotográficas possuem modos “Automáticos” que selecionam os três pilares da fotografia: **velocidade do obturador, a abertura do diafragma e o ISO**, fazem automaticamente todo o trabalho com ótimo resultado. Porém se o objetivo é conseguir fotos especiais, diferentes das automáticas, é preciso ousar e utilizar o potencial que as câmeras oferecem. Esse é um dos objetivos desse texto.

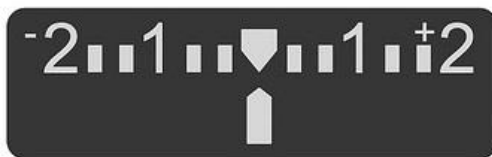
É possível também melhorar fotos regulando manualmente o fotômetro da câmera em ambientes com pouca ou muita luz. Veja ilustração abaixo



SUBEXPOSIÇÃO (FOTO MAIS ESCURA)



SUPEREXPOSIÇÃO (FOTO MAIS CLARA)

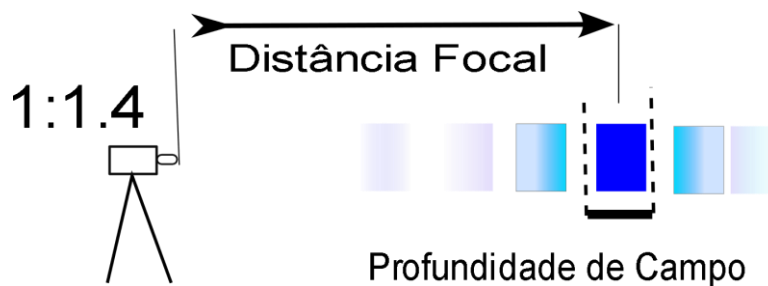


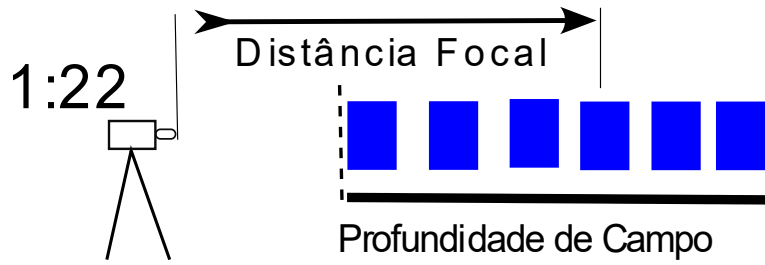
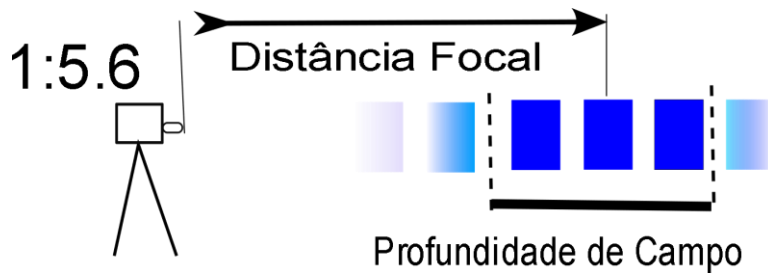
EXPOSIÇÃO BALANCEADA

Subexposição e superexposição

6. Distância Focal e Profundidade de Campo

Profundidade de Campo é a parte da cena na qual os objetos estão em foco, ela é controlada pela abertura. Nas aberturas grandes (1:1.4 por exemplo), o feixe de luz que entra na câmera é mais aberto e a profundidade de campo é menor; nas aberturas pequenas, o feixe de luz que entra na câmera é mais fechado e a profundidade de campo é maior. Veja abaixo as ilustrações sobre **distâncias focais** e **profundidades de campo** nas aberturas **1,4; 5,6 e 22**.





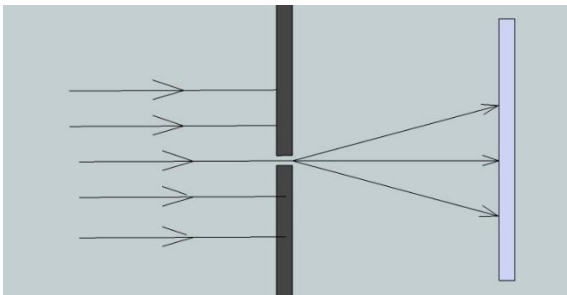
Vamos mostrar duas fotos de uma orquídea. Na primeira queremos que o fundo fique desfocado e a orquídea se sobressaia, usamos a abertura 2,8



Na segunda queremos mostrar todo o espaço, usamos a abertura 22



O foco nas duas fotos é a orquídea.



A falta de nitidez da segunda foto pode ser, pelo menos em parte, por distorção por difração

A difração limita a resolução da fotografia, a luz dispersa ou difrata quando passa por pequenas aberturas, veja a ilustração ao lado.

Consulte: <https://www.cambridgeincolour.com/tutorials/diffraction-photography.htm>

Os três pilares da fotografia, velocidade, abertura e ISO, estão relacionados, a mudança de um requer ajustes nos outros. A abertura controla a profundidade de campo, que é o item que considero mais importantes na parte artística da fotografia. Portanto, uma sugestão para regular a câmera é colocar a abertura no modo manual e escolher um ISO pequeno, 100 ou 200. Dessa forma podemos controlar a profundidade e campo e também a velocidade, aberturas grandes (1:2,8 por exemplo) entram mais luz e a câmera compensa aumentando a velocidade, dessa forma podemos congelar imagens em movimento.

É importante também observar que os extremos das aberturas apresentam distorções, desfoques e/ou difrações. Conseguimos diminuir esses efeitos usando aberturas intermediárias. No caso de fotos de paisagem, com foco em objetos distantes ou no infinito, é preciso uma maior profundidade de campo, mas para um bom resultado é preciso balancear os dois itens: profundidade e abertura. Aqui vai da experiência do fotógrafo, é um dos fatores que torna a fotografia desafiadora e estimulante.

As fotos do beija flor e da lua foram tiradas com abertura 1:5,6.

7. Lentes fotográficas: grandes angulares, teleobjetivas

As lentes são classificadas em grupos: grande angulares de **14mm a 35mm**; normais ou standards de **40mm a 75mm** e as teleobjetiva ou telefoto de **75mm a 300mm**, ou mais.

A lente Minolta $f=50\text{mm}$, que escolhemos para ilustrar esse texto é uma lente fixa tem distância focal única. As lentes variáveis possuem uma faixa de distâncias focais, é como ter várias lentes em uma só. As fotos abaixo mostram exemplos de duas lentes variáveis



A lente da esquerda tem distância focal variando entre 17-50mm e abertura 1:2,8, cobre a faixa de grande angular e normal, própria para fotos em ambiente fechados, grupos de pessoas, paisagens, etc. A lente da direita tem distância focal variando 55-250mm e aberturas 1:4-5,6, é uma teleobjetiva ou telefoto, própria para aproximar objetos, fotografar detalhes, rosto de pessoas, ou objetos distantes, lua, natureza, pássaros, etc. Os celulares de última geração possuem 3 lentes que variam de grande angular a telefoto.

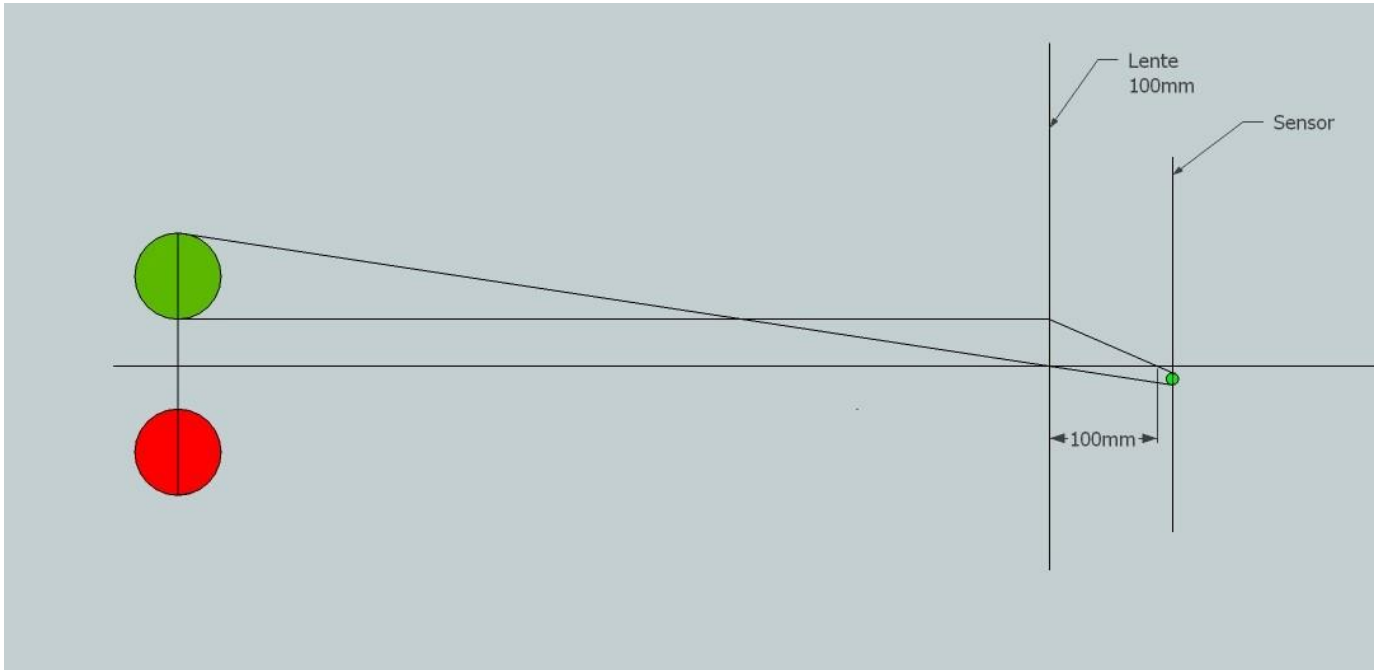


Observe que as distâncias focais das teleobjetivas são maiores que o comprimento câmera+lente, veja na foto ao lado de uma câmera com lente $f=250\text{mm}$. Isto é conseguido através de técnicas sofisticadas de ótica e com um conjunto de lentes chamado “telephoto group”.

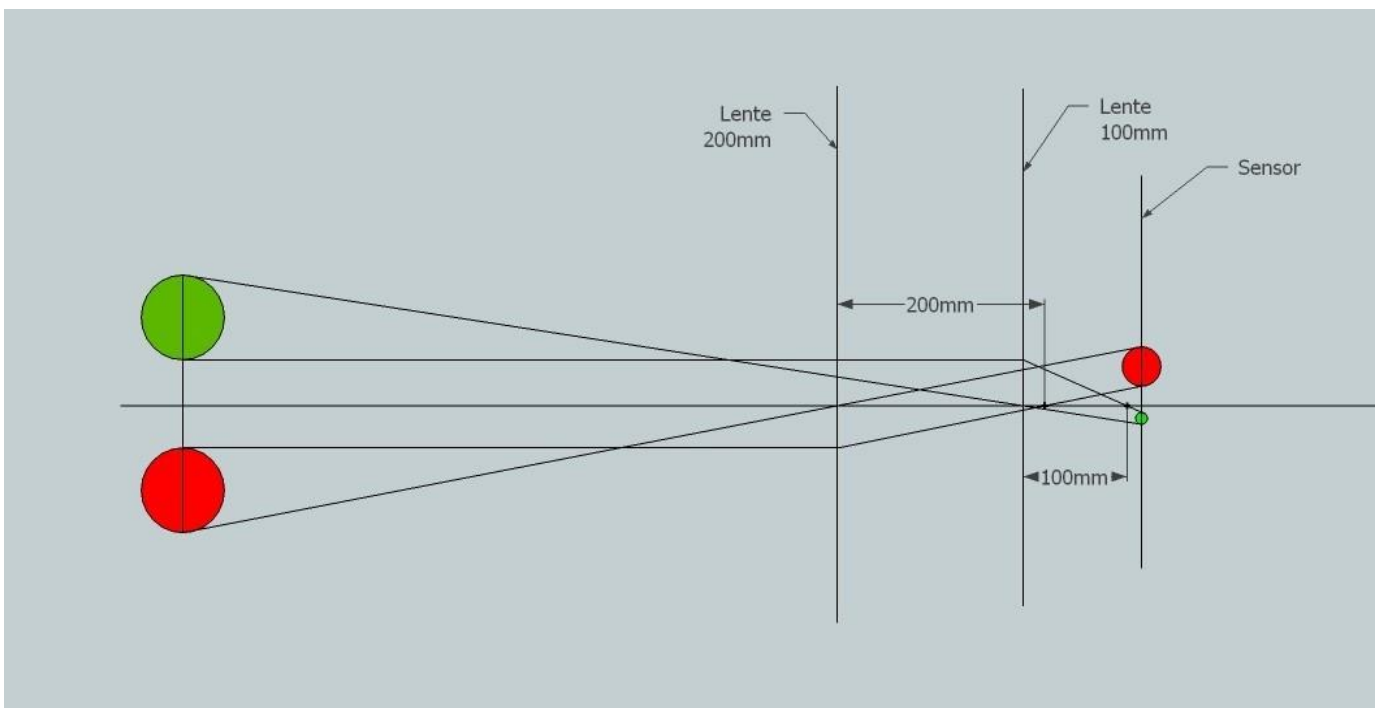
Já vimos que o aumento da distância focal i (lente-sensor) amplia imagens, portanto a tecnologia utilizada para ampliar imagens é aumentar a distância focal f das

lentes. Vamos mostrar como isso acontece

Considere dois objetos de mesmo tamanho com a mesma distância da câmera. Primeiro vamos mostrar a imagem gerada por uma lente $f=100\text{mm}$ do objeto verde.



Agora vamos mostrar a imagem do objeto vermelho gerada por uma lente $f=200\text{mm}$. A primeira informação que precisamos é a posição da lente para que a imagem gerada se forme no sensor, essa posição tem que ser precisa e deve ser calculada. Temos que encontrar as distâncias focais o e i , como temos duas incógnitas, precisamos de duas equações, uma equação é a equação das lentes (1) para $f=200$, a outra é $o + i = D$, onde D é a distância objeto-sensor que deve obtida medindo na figura acima. Resolvendo o sistema de duas equações temos a posição da lente na figura, veja abaixo.



Compare o tamanho das imagens geradas.

Vamos encerrar com uma foto da lua tirada pela teleobjetiva da foto acima com regulagem:
f=250mm, 1:5,6, ISO100, velocidade 1/800 s



Regular corretamente os parâmetros para obter excelentes fotos é um grande desafio para os fotógrafos, desafio que deixa a fotografia interessante e motivadora. Fotos excelentes com claridade perfeita, objeto perfeitamente focado, parado ou ligeiramente borrado dando a impressão de movimento, são fotos que chamam a atenção de todos. Obviamente o equipamento faz grande diferença, como lentes claras, teleobjetivas, etc, mas para começar basta com um corpo e uma lente, que pode ser a fixa. Espero que consigam fotos excelentes e se apaixonem pela fotografia.

Comentários e sugestões são sempre bem vindos