

*Visões da*  
*LUZ*



## Ficha Técnica

### Coordenação de Projeto:

Antonio Carlos Martins  
Maria Esther Valente

### Produção de Conteúdo Científico:

Beatriz Beltrão Rodriguez  
Eugênio Reis  
Gastão Galvão  
Igor Fernandes  
Ivo A. Almico  
Luís Carlos Borges  
Maria Esther Valente  
Patrícia Figueiró Spinelli  
Rafael Velloso  
Ronaldo de Almeida  
Sandra Benitez Herrera  
Suzane Torres Meyer

### Projeto Expográfica:

Antonio Carlos Martins  
Beatriz Beltrão Rodriguez

### Programação Visual:

Bruno Goulart Correia  
Ivo A. Almico

### Produção de Multimídia:

Bruno Goulart Correia  
Habil Design

### Conservação de Acervos:

Claudia Penha dos Santos  
Carlos Nascimento  
Ricardo de Oliveira Dias  
Wellington Pessanha

### Equipe de Produção:

Alexandre Magalhães  
Douglas da Silva  
Leobino Bezerra da Silva  
Luiz Ramiro  
Matatias Lima da Silva  
Paulo César Araújo  
Rodrigo Barreto  
Wilson do Nascimento  
Wilson Pontes

### Revisão de Texto:

Leonor Sampaio

### Estagiária do Serviço de Produção Técnica:

Paloma Gomes Barboza



## Visões da LUZ

Toda luz natural que temos provém do Sol. O Sol é uma estrela, logo, sem estrelas não há, propriamente, luz. E sem luz e sem olhos não há o que ver, não há cores, nem formas. Nem metáforas como: visível / invisível, observável / inobservável, claro / escuro. Não haveria, portanto, pintura, nem escultura, nem arquitetura. Haveria apenas o indistinto, o amorfo, o sempre igual a si mesmo, eternizado em uma infinita monotonia, monocromia. A exposição traz à luz uma diversidade de aspectos pelos quais sua temática pode ser observada.

# Espaço acelerador de partículas

Espaço acelerador de partículas O Museu de Astronomia e Ciências Afins - Mast abre este espaço para apresentar um conjunto de objetos que são partes de um acelerador de partículas remanescente do Laboratório de Aceleradores Lineares do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas - CBPF, doado ao Mast em 2009. Estes objetos documentam as atividades do CBPF em projetos, construção e operação de aceleradores lineares entre as décadas de 1960 e 1990, sob a coordenação do Engenheiro Argus Fagundes Ouriques Moreira.

O primeiro acelerador finalizado em 1962, tinha potência de 2 MeV e, por cerca de duas décadas, foi intensamente utilizada pelo grupo de pesquisa em sólidos liderado por Jacques Danon, possibilitando o desenvolvimento de grande número de pesquisas. O conjunto exposto neste espaço foi utilizado em trabalhos científicos realizados no CBPF e em pesquisas sobre engenharia de aceleradores, no Instituto Militar de Engenharia.

## Partículas do Universo

Nas regiões mais densas do Universo ocorrem fenômenos energéticos que são capazes de liberar altíssimas quantidades de energia. O final evolutivo de uma estrela de alta massa que, ao terminar sua vida, explode como uma supernova, e os núcleos de galáxias que hospedam um buraco negro supermassivo em atividade de acreção de matéria, ou seja, em constante crescimento, são exemplos desses fenômenos.

Esses fenômenos supraenergéticos liberam partículas subatômicas para o Espaço Intergaláctico, que viajam a velocidades próximas à da luz. Por causa da equivalência massa-energia, formulada por Einstein na equação  $E=mc^2$ , as partículas por serem rápidas e conterem uma massa intrínseca, também possuem uma grande energia associada a elas. Muitos desses corpúsculos chegam até nosso Planeta e são detectados pelos cientistas em experimentos desenhados para este propósito.



## Partículas de alta energia

O estudo de partículas cósmicas de altas energias é uma área da Física que está em constante desenvolvimento. Os cientistas usam sofisticados interferômetros que detectam a “luz” que essas partículas emitem ao penetrarem na atmosfera terrestre, fenômeno conhecido como radiação Cherenkov. Para produzir partículas de altas energias artificialmente em Terra, são usados potentes aceleradores de partículas, que fazem com que esses fragmentos de átomos sejam estimulados por campos magnéticos que viajam a velocidades muito altas, também próximas à da luz. Seja detectando as partículas do Universo ou as criando artificialmente em Terra, esses corpúsculos supraenergéticos nos ajudam a entender a estrutura da matéria que constituem todas as coisas: as estrelas, as galáxias, a planta, o ser humano, a nuvem no céu...

Os aceleradores de partículas são experimentos que têm aplicações para além do entendimento das ciências. Estima-se que cerca de 44% dos aceleradores existentes no mundo estejam voltados para estudos oncológicos.

## A luz que chega do universo

### ***E fez-se a luz***

A radiação cósmica de fundo em micro-ondas é um “fóssil” de uma época em que o Universo era muito novo, uns 300 mil anos após o Big Bang. Nos primeiros milênios de vida do Universo, tanto a matéria como a luz não podiam se mover livremente, pois ambas estavam acopladas, como se fala tecnicamente.

Quando aos núcleos atômicos ligaram-se aos elétrons a radiação (os fótons) permaneceu livre para se mover pelo espaço sem obstáculo. A partir desse momento, o Universo tornou-se transparente e, de fato, a radiação procedente desse momento é a primeira luz que conseguimos observar do nosso Universo.

A radiação de fundo em micro-ondas é aproximadamente isotrópica, isto é, tem uma temperatura média de  $-270^{\circ}\text{C}$  independente da direção que se mede no céu. Porém numa escala micrométrica existem pequenas diferenças de temperatura, o que os cientistas chamam de anisotropias, que correspondem às regiões mais quentes (vermelhas) e mais frias (azuis) da imagem. Esses lugares mais quentes são também os mais densos. Eles foram as sementes a partir das quais se formaram as estruturas complexas do Universo.

## Descoberta da radiação de fundo

A radiação de fundo em micro-ondas, foi descoberta, por acaso, pelos engenheiros norte-americanos Arno Penzias e Robert Wilson, quando trabalhavam na implementação de um receptor muito sensível construído originalmente para pesquisa em radioastronomia, nos Laboratórios Bell, em Nova Jersey, nos Estados Unidos. Eles detectaram umas interferências cujas origens não foram capazes de explicar, chegando até mesmo a pensar que o problema provinha dos excrementos dos pássaros que faziam ninhos na antena do receptor. Entretanto, ao avaliarem, juntos com os astrofísicos da Universidade de Princeton, a radiação residual que continuavam registrando eles concluíram que tinham encontrado a radiação de fundo em micro-ondas!

## Formação das estruturas do universo

Com o tempo, algumas regiões ligeiramente mais densas do Universo cresceram pela ação da gravidade, formando nuvens gigantes de gás e poeira, que mais tarde deram forma às galáxias e às estrelas. Nosso Sistema Solar foi criado a partir do colapso gravitacional de uma nuvem molecular há 5 bilhões de anos. A maior parte da massa (99% aproximadamente) se concentrou na região central da nuvem formando a protoestrela; o 1% restante se aglutinou em forma de disco, girando em torno dela, devido à conservação do momento angular. Os diferentes planetas começaram como grãos de poeira e foram crescendo ao longo dos milhões de anos por um mecanismo conhecido como acreção.



# Big Bang

O Big Bang (a Grande Expansão) é o momento que marca o início de nosso Universo, a partir do qual começam a se formar as galáxias, as estrelas, os planetas etc., estruturas que observamos no céu hoje. Com o passar do tempo, elas se formam à medida que a expansão acontece.

Os cosmólogos usam o termo Big Bang para se referir à ideia de que o Universo estava originalmente concentrado em uma região muito pequena, em estado muito quente e denso, em algum tempo no passado e que, desde então, tem-se esfriado por causa da expansão.

## Formação dos primeiros átomos

Pode-se imaginar o Big Bang como uma “sopa” muito densa e quente de partículas subatômicas - quarks (que formam os prótons e nêutrons) e elétrons - concentradas numa região de dimensões muito pequenas, a uma temperatura superior a 10 milhões de graus. Aproximadamente 100 segundos após o Big Bang, a temperatura caiu o suficiente para começar a formar os prótons, os nêutrons e os núcleos atômicos dos elementos mais simples, como hidrogeno, hélio e lítio.

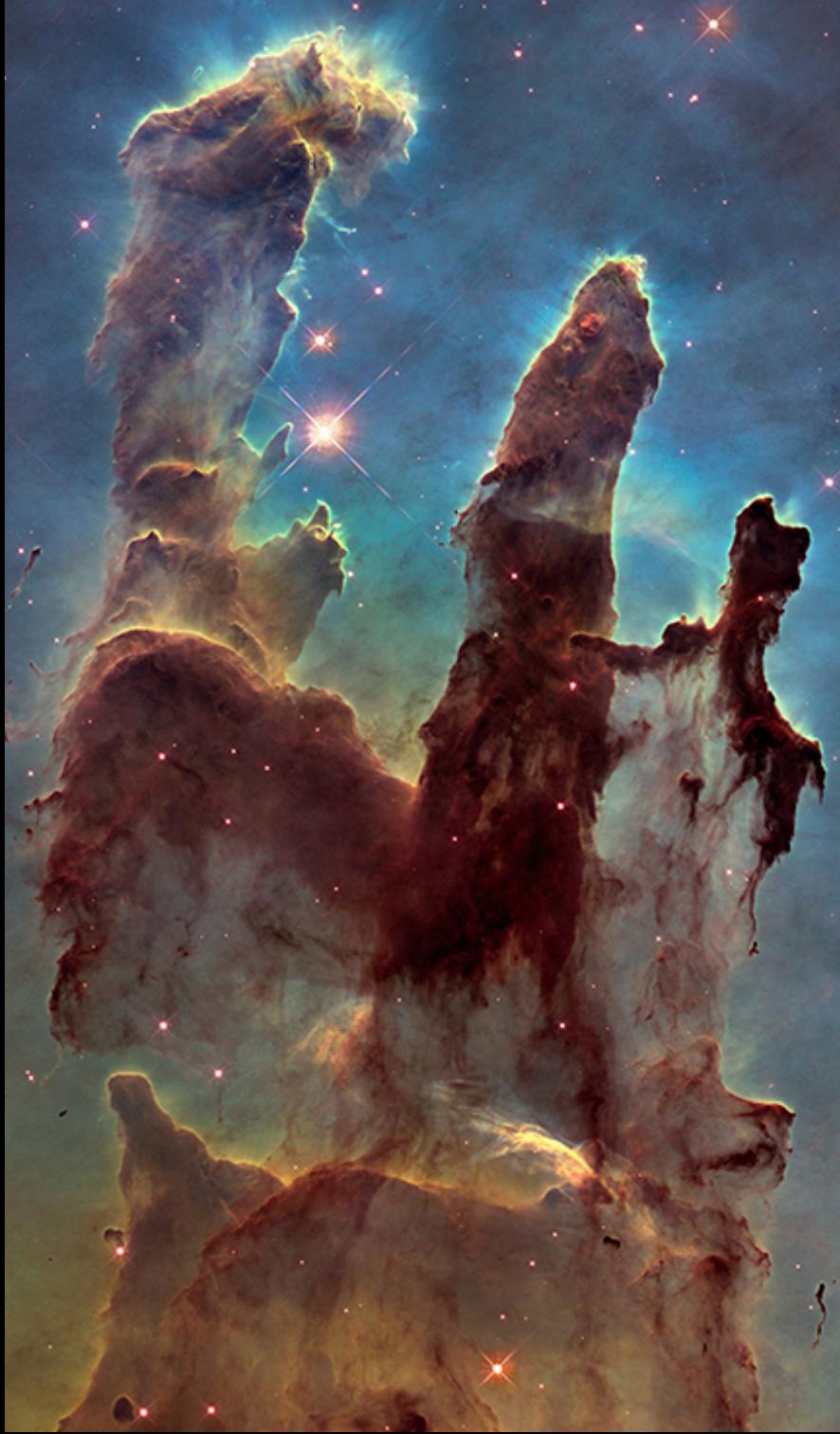
Com a queda da temperatura, esses núcleos atômicos, recém-formados nos primeiros minutos do Big Bang, ligaram-se aos elétrons, criando átomos completos desses elementos. Porém, isso só aconteceu quando a temperatura caiu em torno de 3.000 °C, por volta de 300 mil anos depois do começo da expansão.

## Expansão no Espaço

É importante compreender que o Big Bang não é uma explosão no sentido literal da palavra, onde a matéria preenche um espaço vazio, que existia anteriormente. O que de fato acontece é que o próprio espaço se expande, isto é, as distâncias entre os objetos físicos aumentam gradualmente com o tempo.

O Big Bang não é, por conseguinte, uma explosão no espaço, mas uma explosão do espaço. Nas últimas décadas, considera-se que a expansão do Universo é acelerada, ou seja, as distâncias aumentam cada vez mais rapidamente.





## As Estrelas

As estrelas nascem no interior de nebulosas gigantes de gás e poeira cósmica, compostas principalmente de hidrogênio e hélio. Pelo efeito da gravidade, a nuvem colapsa em fragmentos menores formando numerosas estrelas primitivas (protoestrelas).

Os núcleos dessas estrelas recém-nascidas são tão quentes e densos, que criam condições para a geração de reações nucleares, formando hélio a partir de átomos de hidrogênio. Esse é o combustível que mantém a estrela em equilíbrio e a impede de seguir colapsando sob seu próprio peso.

A vida média das estrelas varia dependendo de sua massa inicial. Estrelas com massa 8 vezes maior do que a do Sol consomem seu combustível, muito rapidamente chegando ao final de suas vidas num tempo pequeno após ter nascido. Elas morrem, explodindo como supernovas e ejetando a maior parte de seu material no meio interestelar. Na região central forma-se, ou uma estrela de nêutrons, ou um buraco negro, devido à implosão do núcleo estelar.

Estrelas tipo Sol evoluem mais lentamente e ao final de suas vidas se expandem e tornam-se gigantes vermelhas, quer dizer, estrelas muito grandes e também mais frias. Os enormes ventos estelares, produzidos durante essa fase, jogam parte do material das camadas externas ao meio interestelar,

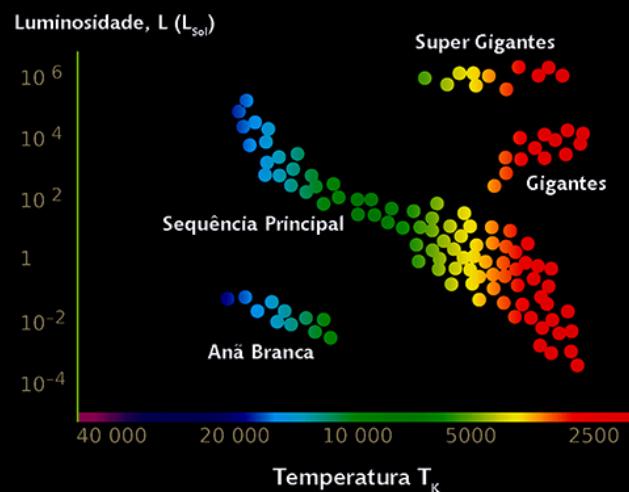
dando lugar às nebulosas planetárias. As estrelas, cujas massas são menores do que a metade da do Sol, vivem por períodos ainda mais longos, sem experimentar mudanças demasiado drásticas. Essas são as anãs vermelhas, estrelas frias e pequenas que, segundo os últimos estudos, que são as mais abundantes da nossa Galáxia. A nossa vizinha imediata, Próxima Centauri, localizada cerca de 4 anos-luz de distância (a luz demora cerca de 4 anos para chegar até nós) é uma delas.

# Diagrama de Hertzsprung Russell

O diagrama mostra a luminosidade das estrelas, de acordo com suas temperaturas e massas. A Sequência Principal (faixa central do diagrama) corresponde à fase da queima de hidrogênio em hélio nos núcleos das estrelas. Nessa Sequência Principal é onde a maior parte das estrelas estão localizadas.

Uma estrela começa sua vida na Sequência Principal, quando a temperatura de seu núcleo é suficientemente alta para iniciar a fusão do hidrogênio. Ela permanecerá nessa fase até que seu combustível se esgote e passe para a fase de gigante vermelha (faixa lateral superior do diagrama).

O tempo que uma estrela permanece na Sequência Principal depende de sua massa. As estrelas de maior massa (azuis) queimam rapidamente o hidrogênio em seus núcleos, permanecendo na Sequência Principal apenas milhões de anos. As estrelas de massa intermédia (amarelas) e baixa (vermelha) demoram desde dezenas até centenas de bilhões de anos para esgotar seu estoque de hidrogênio.



## O Sol

O Sol é a estrela que rege o Sistema Solar. Ao redor dela orbitam os oito planetas e os corpos menores do nosso Sistema, como asteróides, cometas e planetas anões. Os astrônomos têm indícios suficientes para acreditar que o Sol seja uma estrela de População I, que se originou com o material interestelar já contaminado por detritos de outras estrelas, que nasceram e morreram antes do Sol se formar.

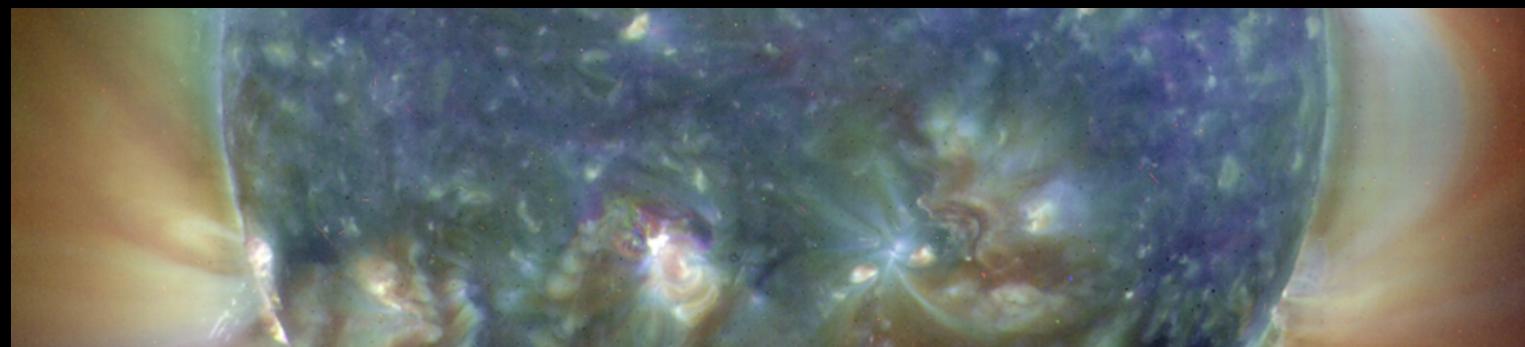
Nossa estrela é a mola mestre de todo o sistema ecológico da Terra, pois é graças a captação de sua energia que se move toda a cadeia trófica. A energia captada pelos produtores primários vai passando por diversas etapas, mobilizando toda a biosfera planetária.

A luminosidade do Sol, fonte de energia e calor que chegam à Terra, ocorre pela fusão de dois núcleos de átomos de hidrogênio em um átomo de hélio. Como a massa do hélio é menor que a massa dos dois núcleos de hidrogênio juntos, a "massa restante" desse processo (diferença entre as massas

iniciais e final) é liberada ao espaço na forma de energia luminosa, obedecendo à equivalência massa-energia dada por  $E=mc^2$ .

O Sol é popularmente conhecido como Astro Rei e foi cultuado por diversas civilizações. Foi identificado como Rá pelos egípcios e como Apolo pelos gregos. Para os Incas, o deus Sol era chamado de Inti, que observavam seu movimento no céu ao longo do ano e identificavam os períodos agrícolas de acordo com a posição do nascimento do Sol e da duração das horas claras do dia.

Os Incas, assim como outras civilizações, souberam identificar os dias de Solstícios e Equinócios, que hoje usamos para marcar o início das Estações do Ano. Ainda hoje no Peru, a cada 24 de junho se celebra o Inti Raymi, a Festa do Sol. A data simboliza o início do Ano Inca que ocorre quando o Sol nasce na posição mais afastada do ponto cardinal Leste, em direção ao Norte, momento conhecido como Solstício de Inverno no Hemisfério Sul.



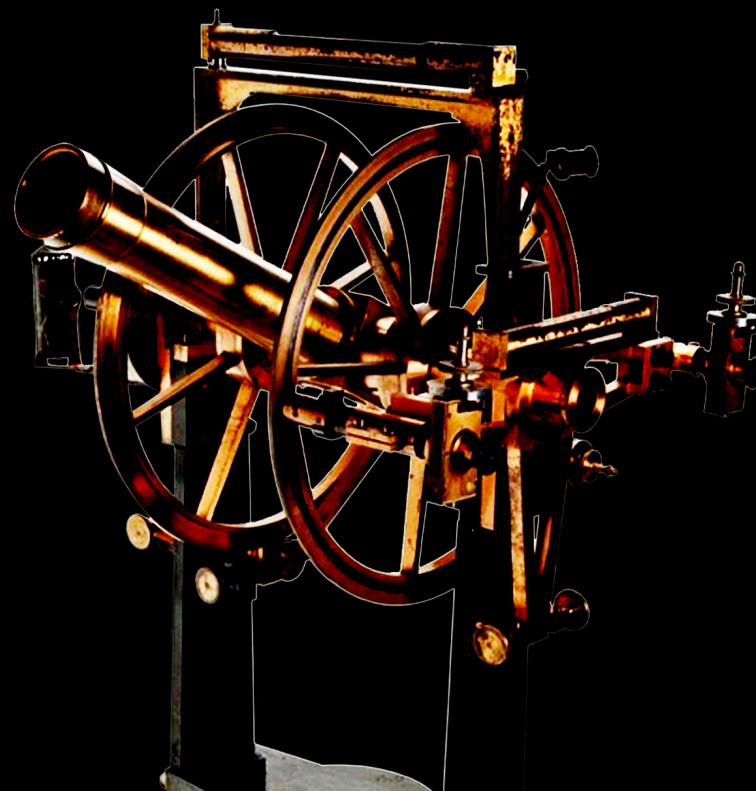
# Observando o céu

As lunetas altazimutais (que medem a separação angular entre dois objetos celestes), a luneta meridiana e o círculo meridiano (que cronometram a passagem de uma estrela através de um retículo) e o foto-heliógrafo (que projeta o disco do Sol em um anteparo) são instrumentos que têm em comum o fato de captarem a luz para formar imagens que, ao serem estudadas, constituem uma área de investigação básica da Astronomia.

O telescópio, com seu poder de captar a luz de objetos distantes, ganhou importância para a Astronomia, a partir do século XVIII, com a invenção do micrômetro reticular (dois fios móveis montados no campo de visão do observador), abrindo novos mundos para a investigação astronômica.

Com os avanços ocorridos, foram criadas as lunetas meridianas acotoveladas e os altazimutes acotovelados, cuja óptica faz com que a luz seja desviada para um único ponto no eixo do instrumento, independentemente da direção do seu tubo, facilitando, assim, a incômoda posição quase vertical na observação de objetos muito altos no céu.

Descobrir como o Sol “funcionava” passou a ser um objetivo e para isso foi construído o Foto-heliógrafo: o primeiro instrumento idealizado para fazer fotos do disco solar.

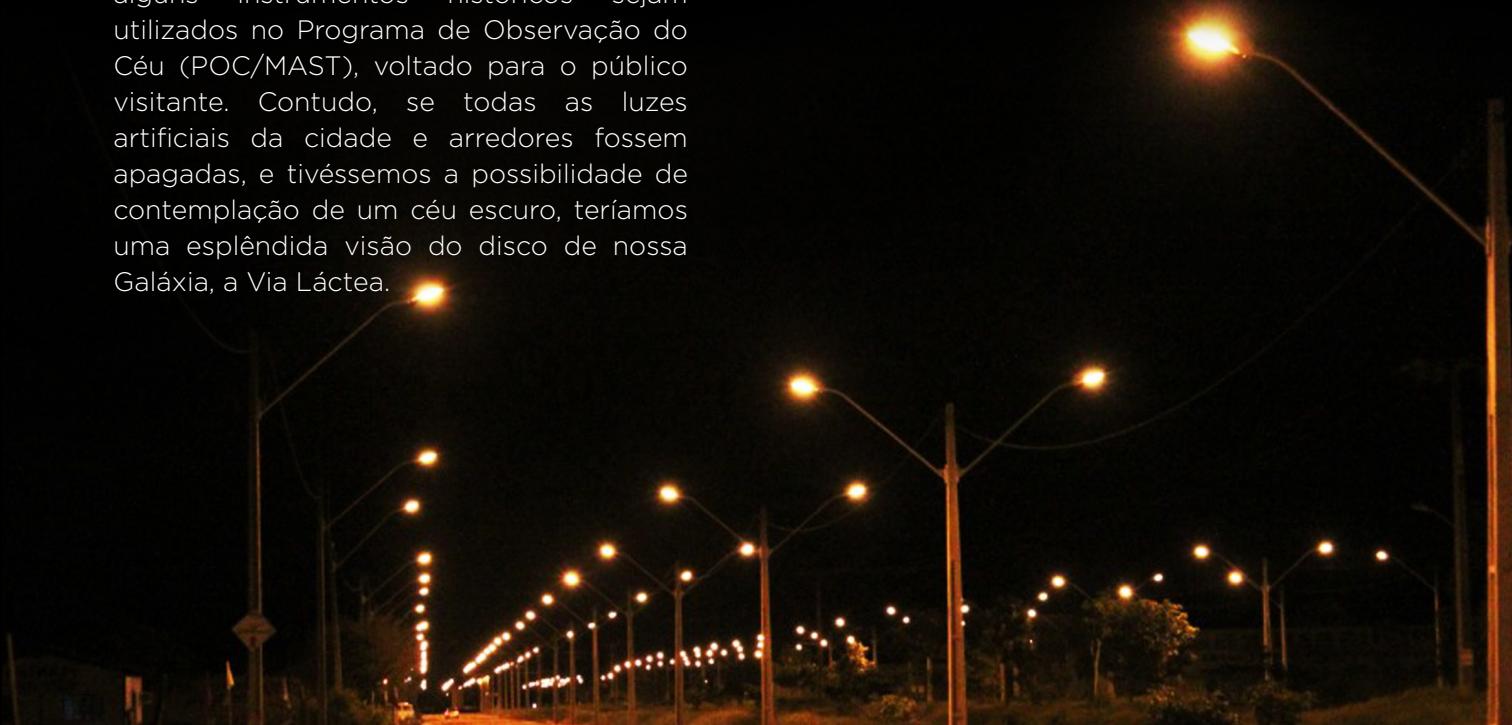


# Poluição Luminosa das cidades

Por conta do excesso de luz artificial, é incomum encontrar observatórios astronômicos nas grandes cidades. Nos dias atuais, Havaí (Estados Unidos), Ilhas Canárias (Espanha) e o deserto do Atacama (Chile) são os locais mais propícios para hospedar grandes telescópios, tanto pelas condições atmosféricas favoráveis, quanto pela pureza do céu noturno, que é livre de iluminação artificial.

No Rio de Janeiro, os telescópios encontrados no campus do Observatório Nacional não realizam mais observações do céu noturno para fins científicos, embora alguns instrumentos históricos sejam utilizados no Programa de Observação do Céu (POC/MAST), voltado para o público visitante. Contudo, se todas as luzes artificiais da cidade e arredores fossem apagadas, e tivéssemos a possibilidade de contemplação de um céu escuro, teríamos uma esplêndida visão do disco de nossa Galáxia, a Via Láctea.

A luz irradiada por postes de iluminação pública, anúncios luminosos do tipo outdoors e até mesmo a luz do interior de nossas casas provoca um efeito negativo no meio ambiente conhecido como poluição luminosa. O excesso de luz artificial, além de iluminar a atmosfera e fazer com que o céu noturno seja pobre na quantidade de estrelas observadas é prejudicial a vários animais, como os morcegos, tartarugas, aves migratórias, alguns tipos de lêmures, insetos etc.



# A luz e a vida

A luz do sol é uma onda eletromagnética que nos fornece energia e informação, ambos os aspectos são aproveitados pela biosfera terrestre. A fotossíntese é o processo pelo qual as plantas utilizam a luz para sintetizar compostos orgânicos, transformando a energia da radiação solar em energia química.

Como um subproduto desta reação, temos o oxigênio que será aproveitado pelos seres que utilizam o oxigênio na sua respiração (aeróbicos). Na ausência de luz, a planta não realiza fotossíntese e consome oxigênio liberando gás carbônico no ambiente, entretanto em condições normais, a taxa de fotossíntese é cerca de 30 vezes maior que a respiração na mesma planta.

Quanto ao aspecto informativo da luz, a biosfera evoluiu no sentido de captar a radiação solar e integrá-la ao aparato comportamental por meio dos olhos. No início, os "olhos" eram apenas um aglomerado de proteínas sensíveis que eram ativadas quando encontravam luz. Essa estrutura evoluiu drasticamente, transformando-se nos órgãos complexos que conhecemos hoje, permitindo que cada tipo de ser vivo capture a radiação de acordo com suas necessidades ecossistêmicas.



# Espectro visível da luz pelo homem

## OS OLHOS E A IMPORTÂNCIA DE VER

A luz produz uma grande quantidade de informação importante para nossa sobrevivência. Contudo, nem todas podem ser vistas. Somente podemos perceber uma pequena parcela que chamamos de “espectro visível”. Todo o restante da informação é invisível para nossos olhos.

Na natureza existem diversos tipos de olhos entre os seres vivos, cada um adaptado à sua necessidade. Para uma abelha nossos olhos podem parecer inadequados, pois esses organismos necessitam enxergar os raios ultravioleta, espectro invisível para os humanos.

## NÃO SER VISTO

Muitos seres vivos, na luta pela sobrevivência, utilizam o mimetismo e a camuflagem, visando à manipulação do modo como a luz é absorvida e refletida para se misturarem ao ambiente, tanto na atividade de predador como na de presa.

Certos animais podem também produzir cores através de estruturas físicas microscópicas. Essas estruturas agem como prismas, refletindo e espalhando luz visível. Dessa maneira, a combinação de cores é refletida. Camaleões, por exemplo, percebem a luz que incide na retina, comparando essa luminosidade com a luz

refletida no ambiente e liberam hormônios para as células da pele, fazendo com que elas assumam a cor do ambiente.

## COMO VEMOS AS CORES?

As cores vistas pelo olho humano são faixas de ondas. E o comprimento das ondas é o que define as cores, ou seja, é o que define o verde, o amarelo e o azul que enxergamos. As cores são uma sensação produzida pelos olhos. São impressões produzidas na retina do olho pela luz refletida/difundida pelos objetos.

No olho, é na retina que percebemos a luminosidade e as cores dos objetos, através de duas estruturas especializadas: os cones e os bastonetes.

Os bastonetes são células que necessitam de pouca luz para serem sensibilizados. Entretanto não conseguem formar imagens coloridas ou nítidas. É por isso que, à noite ou em locais escuros, temos dificuldade de distinguir as cores.

Já os cones necessitam de uma quantidade grande de luz e geram as imagens nítidas e coloridas. Existem três tipos de cones: os azuis, os vermelhos e os verdes. São chamados assim, pois são ativados pelas cores azul, vermelha e verde respectivamente.

Os três cones são responsáveis pela percepção de uma certa região do espectro luminoso, e o restante das cores que vemos, na verdade, são provenientes da soma dessas três cores primárias.

## QUEM ENXERGA MELHOR?

Os olhos evoluíram há milhões de anos tornando-se extremamente variados e complexos. A visão é o sentido mais importante para a maioria dos animais, incluindo os humanos. A visão de cada ser vivo está adaptada para suas necessidades, assim cada animal enxerga o necessário para o seu ecossistema.

## TARSIER

Com olhos pesando mais que o seu cérebro, o tarsier tem uma visão extremamente aguda e uma excelente visão noturna. Esse pequeno primata noturno, encontrado nas florestas tropicais do sudeste da Ásia, alimenta-se de lagartos e insetos e é capaz de pegar pássaros em pleno voo.

## LIBÉLULA

A libélula tem os olhos mais incríveis entre os insetos. São tão grandes que cobrem quase toda sua cabeça, possuem um campo visual de 360 graus e são formados de 30.000 unidades visuais chamadas ommatidia. Cada olho contém uma lente e uma série de células sensíveis à luz. A excelente visão pode detectar cores e luz polarizada. Sendo sensível ao movimento, a libélula descobre, rapidamente, qualquer presa ou predador. Além desses dois olhos, a libélula possui

mais três menores (ocelos) que detectam o movimento mais rápido do que os olhos maiores, permitindo-lhe reagir em fração de segundo.

## LULA COLOSSAL

A lula colossal é um dos maiores animais do nosso planeta. Cada globo ocular tem em média 30cm de diâmetro, sendo os maiores olhos da face da Terra! Seus olhos possuem células especiais, (photophoros), que emitem luz e permitem enxergar na absoluta escuridão do oceano. Dessa forma, quando a lula colossal posiciona seus olhos para frente, sua presa é iluminada e, na pouca luminosidade, consegue enxergar perfeitamente.

## ARANHA CARA DE OGRO

As aranhas são conhecidas por terem muitos olhos, embora isso varie entre as espécies. A aranha cara de ogro possui seis olhos, quatro pequenos e dois maiores. Os olhos enormes são cobertos por uma membrana de células sensíveis que possibilitam uma excelente visão noturna. Por ser muito sensível, a membrana é destruída ao amanhecer e uma nova é produzida a cada noite. Acredita-se que esse tipo de aranha tenha uma visão noturna melhor que a dos gatos, tubarões, corujas e pode ver à noite até 100 vezes mais que os seres humanos.



## O micro e o macro

Cristais rochosos ou pedras semipreciosas como o quartzo serviam como material na produção das primeiras lentes, que remontam a tempos anteriores à era cristã. Os minerais, polidos de modo a auxiliar na visão humana, ampliavam a imagem dos objetos observados.

A compreensão dos princípios do funcionamento desses artefatos, em parte, deve-se a Alhazen (Ibn al-Haytham - 965-1039) considerado o 'pai da óptica', que nos deixou a obra *Opticae thesaurus Alhazeni*. Entretanto, foi seu antecessor Ptolomeu que, no século II, escreveu o *Almagesto* que influenciou toda a Europa até o Renascimento.

Foi só no século XVII que o microscópio e o telescópio aparecem como recursos fundamentais na observação do que é invisível a olho nu, sejam aquelas partículas minúsculas difíceis de se ver ou os objetos distantes que há no céu. Hoje os melhores microscópios ópticos conseguem captar imagens de estruturas com até 0,0002 mm. Os grandes telescópios terrestres e os telescópios espaciais conseguem captar a luz dos objetos nos confins do Universo. O Microscópio e o infinitamente pequeno

No final do século XVI, Hans e Zacharias Janssen (1580-1638), pai e filho, combinando lentes, fizeram experimentos para possibilitar o aumento do que observavam. Usando uma lente de aumento próxima ao objeto observado, eles criaram o microscópio óptico. Os microscópios possibilitaram o estudo do mundo micro. No Séc. XVII, Robert Hooke (1635-1703), membro da Sociedade Real de Londres, entra para a história da biologia ao cunhar o termo 'célula', depois de estudar finas lâminas de cortiça ao microscópio.

O Desenho, abaixo, de autoria de Antoine Van Leeuwenhoek, representa nervos do corpo humano em corte transversal, tais como observou através de seu microscópio rudimentar, porém de boa performance. Em 1718, Leeuwenhoek descreveu a estrutura dos nervos humanos como um conjunto de vasos muito finos ou canais, que serviam para conduzir no organismo um "fluido ou energia vital" de natureza ainda desconhecida.

Para além do limite óptico, em 1981, Gerb Karl Binnig e Heinrich Rohrer criaram o microscópio eletrônico que possibilita chegar a estruturas na escala atômica, observando tamanhos menores do que o comprimento de onda da luz visível.

## O mundo Macro

Na passagem dos séculos XVI para o XVII, a Europa vivia uma intensa especulação em torno da fabricação e do uso de lentes. Nesse cenário, em 1608, a criação do telescópio foi atribuída à Hans Lippershey pelo governo holandês. Curiosos, os matemáticos, os astrônomos e os físicos da época logo experimentaram o instrumento, olhando o céu para aproximar da visão o Universo distante. Um outro conhecimento do céu proporcionou uma nova percepção do mundo.

Na primeira década de 1600, o italiano, Galileu Galilei aperfeiçoou o modelo do telescópio de Lippershey, aproximando seu poder de alcance em cerca de 20 vezes. Com seu novo instrumento óptico, descobriu as manchas solares, as crateras e os relevos lunares, as fases de Vênus e os principais satélites de Júpiter. Galileu é chamado o 'pai da astronomia observacional' devido a seu importante papel na Revolução Científica do Renascimento.

... para ver coisas distantes como se estivessem próximas de nós. Hans Lippershey (1608) Trecho da solicitação de patente do telescópio

Isaac Newton, em 1671, na Inglaterra, construiu o 'telescópio refletor'. Este novo modelo suprimia as aberrações cromáticas, provocadas pela dispersão da luz em diferentes cores ao atravessar as lentes do 'telescópio refrator'. Os espelhos do telescópio 'refletor' não dispersam cores e assim a imagem é mais bem formada. Telescópios instalados, fora da Terra, em bases espaciais, permitem realizar observações sobre o Universo a qualquer momento, revelando imagens que não podem ser detectadas da Terra e não são afetadas pelo mal tempo ou pelas turbulências da atmosfera terrestre.

Desde a década de 1960 inúmeros instrumentos foram lançados ao Espaço. Equipados com diferentes recursos de observação em todo o espectro eletromagnético (luz), eles enviam para a Terra incontáveis imagens, revelando detalhes sobre os objetos celestes mais distantes.

## A luz e a arte

A interação do homem com a natureza, em específico com as luzes e as cores promovem uma gama de diversos questionamentos, sensações e emoções que são empregados na arte. Por meio da luz, percebemos infinitas possibilidades de enxergar cores, sombras e volumes que produzem a compreensão sobre a plasticidade da imagem. O estudo minucioso da luz e das cores confere ao artista a primazia da forma ou do prolongamento da natureza na arte.

O significado agregado às cores é ainda aliado a uma intenção e percepção estética que atribui valor a cada diferente momento histórico e contexto social. Ao mesmo tempo, é importante mencionar que as técnicas desenvolvidas para retratar as cores e as luzes naturais na concepção artística não se resumem a uma relação de regras, mas a um rico amalgama de idéias físicas, metafísicas e culturais.

Embora ainda não tivesse anoitecido, os postes da praça estavam iluminados; as luzes elétricas se multiplicavam no asfalto molhado, em meio ao reflexo plúmbeo do entardecer que gravitava sobre Nice. O tango da Velha Guarda. Arturo Pérez Reverte, 2013



### 1 - **Renné Magritte**

O Império das Luzes

146 x 114 cm

1954

### 2- **Vincent van Gogh**

Noite estrelada (Ciprestes e Vila)

73,7 x 92,1 cm

1889

Paisagem da janela da cela no sanatório Saint-Rémy.

Representação de um cenário, o qual o protagonista é um céu estrelado. As formas ultrapassam os limites da realidade, passando ao campo da sensibilidade, bastante emocional. O brilho das estrelas e da Lua é bem significativo, demonstrado pelas pinceladas sinuosas e em formatos concêntricos, transmitindo uma forte vibração da luz. Também, demarca as primeiras luzes do amanhecer surgindo nas colinas ao fundo do cenário.

### 3 - **Jan van Eyck**

O Casal Arnolfini

82 x 60 cm

1434

Representação de um casal em Bruges.

A utilização das cores complementares, do jogo de sombras, da reprodução da luz que entra suavemente pela janela e do espelho ao fundo refletindo a alcova realçam a volumetria e a perspectiva da alcova. Também, existe uma série de elementos simbólicos na obra: a esposa grávida –

iluminada pela luz; a prosperidade do casal – uso de objetos e cores (vermelhos, verdes, laranjas...); a composição, cerimoniosa e teatral, entre outros.

### 4 - **Arcangelo Ianelli**

Sinfonia em azul

180 x 130 cm

1976

Representação do conceito de abstração cromática.

O protagonista desta obra é o estudo sobre as cores. Trabalha com as tonalidades das cores e com os grafismos geométricos. Estabelece relações criadas por planos puros de cor com variações tonais de azuis, onde percebemos delicadeza, simetrias e jogos de cheios e vazios. A variação das matizes e das saturações das cores aliadas a delimitação dos planos por linhas em contraste permitem o estabelecimento das noções de profundidade e figura/fundo.

### 5 - **Pierre Auguste Renoir**

O Balanço

92 x 73cm

1876

Representação da luz sobre os elementos presentes no jardim da Rua Cortot.

A composição é produzida por uma paleta colorida, sendo que os objetos mudam de tonalidade de acordo com o movimento da luz. Os raios solares são filtrados pelos galhos e folhas das árvores, promovendo um jogo de sombras e luz refletido nas

peças e nas formas. A face feminina expressa doçura e afeição. Esta obra é pintada ao ar livre, procurando transmitir a impressão visualizada naquele momento do dia.

### 6 - **J. M. William Turner**

Luz e Cor

78,5 x 78,5 cm

1843

As cores são fundamentais para construção da composição.

A luz é representada por pinceladas concêntricas e difusas. As cores mais frias (azuis e roxos) representam o céu e as nuvens; as cores mais quentes (laranjas, vermelhos e amarelos), à incisão da luz tocando no cenário. As variações de matiz e da saturação das cores possibilitam o entendimento das formas, pessoas, nuvens, ondas e objetos imersos em uma paisagem menos definida e ainda reforçam o simbolismo da cena.

### 7 - **Claude Monet**

Impressão, Sol Nascente

48 x 63 cm

1873

Representação da luz da aurora no porto de Havre.

Obtida pelo emprego de cores complementares - laranjas e azuis - combinadas com matizes acinzentadas. A luz é protagonista desta obra de arte, sendo representada pelos raios solares

refletidos nas nuvens, na água e nos demais elementos da paisagem. Também, destacam-se as sombras e o efeito das brumas no todo do cenário. Esta obra é pintada ao ar livre, procurando transmitir a impressão visualizada naquele momento do dia.

O homem identifica-se cromaticamente, quando prefere umas cores, despreza outras e é indiferente ao restante. Também utiliza cores como símbolo, para identificar-se com algum grupo humano. Além disso, todo pintor se inicia com o problema de encontrar a sua identificação cromática, quer dizer, sua paleta, cujas dominantes revelem sua personalidade. A mística da cor. Juan Acha, 1984

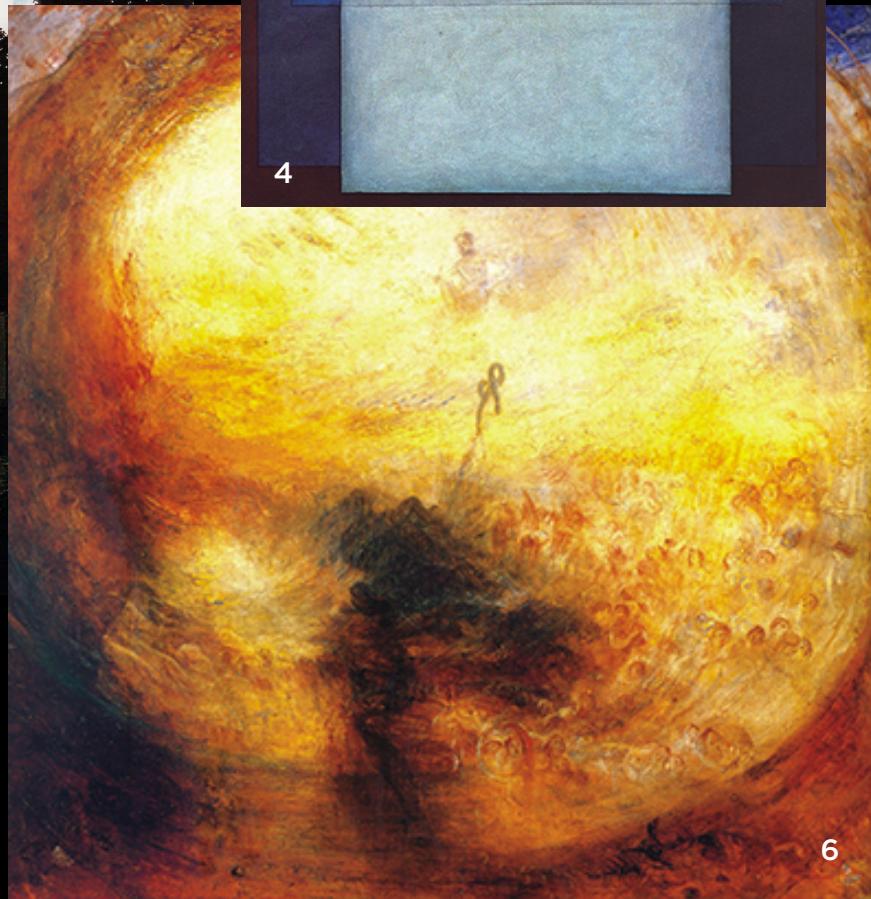
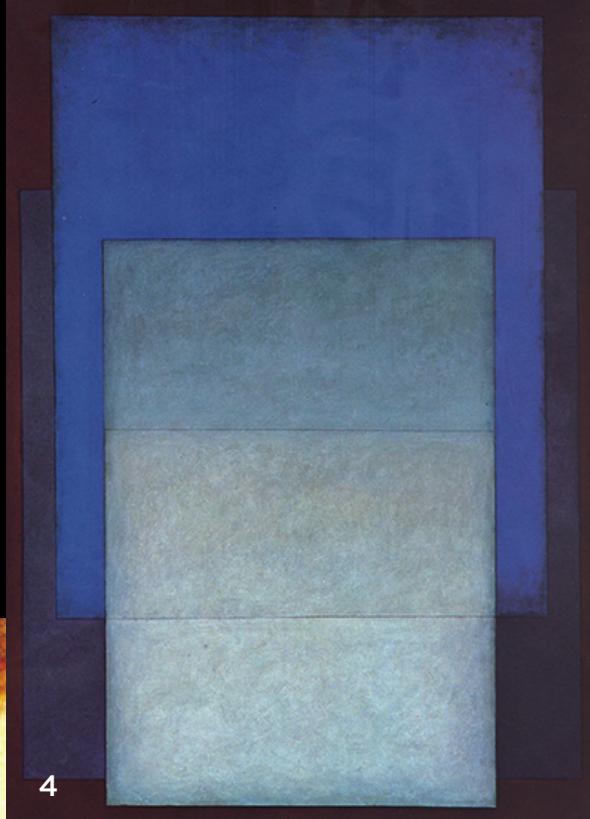
### 8 - **Ivo Almico**

Objeto 5

100 x 100 cm

2008

Composição pictórica concebida por observação de um Altazimute prismático instrumento do acervo do Mast, local de vivência cotidiana do artista. A palheta mais evidente deriva de amarelos, laranjas, vermelhos e suas relações tonais, delimitadas por linhas azuis e vermelhas que juntas definem formas, volumes e perspectiva. Utiliza cores ora mais claras, ora mais escuras para representar luz e sombras, iluminando as engrenagens do instrumento, dando dramaticidade a composição.



# A luz e a mitologia

## A Luz e o Fogo: A Ciência e a Tecnologia

Toda sociedade explica como o que antes não existia passou a existir, por isso não há sociedade sem mito e sem cosmogênese. Todas as mitologias que narram a criação do universo se referem a um antes e a um depois que surgiu a partir de um evento único, irrepitível e singular.

Esse antes corresponde a um estado sempre igual, fechado em si mesmo a que denominamos caos: o sem forma, o sem fundo, o desordenado e, por isso mesmo, impensável, ininteligível.

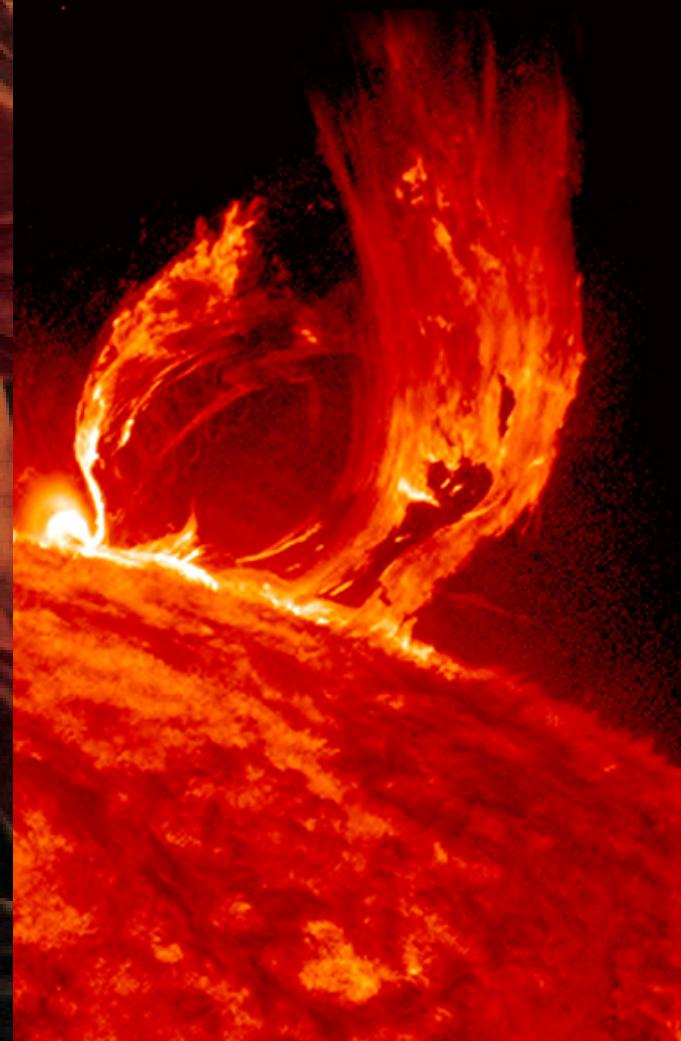
Já o depois corresponde a algo que é dinâmico e aberto, o cosmos, o que tem forma, ordem; o que pode ser analisado, interpretado, conhecido, classificado, em suma, simbolizado.

Em síntese, pode-se dizer que a partir de um estado de completa escuridão - a noite originária, como a chamam os Guarani -, a percepção da luz, como aquilo que permite o inteligível e o pensável - ao lado do domínio do fogo, daí decorrente -, fez e continua a fazer parte do salto quantitativo e qualitativo pelos quais passaram e passam todos os povos.



## Imagem do Sol:

Imagem da ejeção de massa na coroa do Sol fornece uma ótima visão sobre o evento ocorrido nas datas de 17 e 18 junho de 2015. O Solar Dynamics Observatory da NASA captou o evento no comprimento de onda de luz ultravioleta. NASA/SDO



## O Mito

Em todas as mitologias, a luz se faz e proporciona aos humanos a possibilidade de distinguir formas, cores, profundidades, camadas que se superpõem. Os exemplos se multiplicam, e menções à existência, primeiro, da noite e, posteriormente, ao aparecimento da luz (do dia) são comumente encontradas em diferentes mitos.

## MITOLOGIA CRISTÃ

Na mitologia cristã, Deus ordena que se faça a luz e a luz se fez. A feitura da luz é o primeiro ato de criação divina, depois da qual as demais coisas vão surgindo no tempo mítico da criação.

## MITOLOGIA GUARANI

Na mitologia Guarani (grupo étnico do Tronco Tupi), Nhamandu, a divindade criadora do universo, molda a luz a partir da luminosidade de seu coração e, deste modo, faz surgir a distinção entre noite e dia, sendo que o dia é reservado à maioria das ações humanas, dentre elas, o conhecimento verdadeiro das coisas. Devido à sua origem divina, o disco solar é reverenciado como a imagem visível dessa divindade, e também como um símbolo de sua presença e proteção. Por essa razão, a Opy (Casa de Reza) é construída de forma que a parede, junto a qual, do lado de dentro, são colocados os instrumentos sagrados, fica voltada para o nascente.

## MITOLOGIA GREGA

Na mitologia grega, Apolo (para os romanos Febo) é o que brilha, que é luminoso sendo, por isso, relacionado à juventude e à luz; uma divindade que, desde o céu, podia ameaçar ou proteger os humanos. Apolo é identificado com o sol, sua face visível, e com a luz, o que permite contemplar a verdade. Associado à criação poética e ao saber, Apolo exercia seu poder em todos os lugares e tempos, quer sobre a natureza quer sobre o homem.

## O Fogo

A palavra fogo deriva do latim focus que, em português, originou duas palavras distintas quanto ao sentido: fogo (com o sentido de lume) e foco (qualquer ponto para o qual converge, ou do qual diverge, um feixe de ondas eletromagnéticas ou sonoras ou um feixe de raios luminosos; também usado como sinônimo de atenção). O fogo é também uma fonte luminosa, uma espécie de substituto da luz natural, assim como as velas, as lâmpadas, os holofotes, o laser etc...

O fogo é um fenômeno que consiste no desprendimento de calor e luz produzidos pela combustão de um corpo. Há, assim, o fogo natural, gerado, por exemplo, por um raio que provoca incêndio. E há o fogo cultural, aquele que foi criado e é recriado pela ação humana e incorporado ao modo de viver dos diversos povos. Neste sentido, o fogo pode ser associado à tecnologia, tal como os instrumentos de caça, de pesca,

de guerra, de produção de conhecimento, desde um pequeno galho em chama ao fogo nuclear.

O domínio do fogo foi fundamental para a humanidade. Não só porque pôde iluminar e proteger seu espaço de vivência, mas também porque pôde ajudar a produzir o alimento cozido, além de implementos que auxiliam na realização de muitas de nossas tarefas.

É bem conhecido o mito grego de Prometeu, aquele que roubou o fogo sagrado e o presenteou aos homens. Ao fazer isso, Prometeu ofendeu aos deuses e, como punição por seu ato de propiciar os homens a posse de um instrumento tão poderoso, foi condenado ao sofrimento sem término.

Para os Kayapó (grupo étnico do Tronco Macro-Jê) o fogo e o brilho das estrelas estão associados. De acordo com a mitologia desse povo, o universo é formado por diversos estratos, de maneira que o céu de um mundo é o solo de outro mundo. E os Kayapó moram em muitos desses estratos. Assim, ao olhar para o céu à noite, um kayapó observa o brilho das fogueiras dos Kayapó que moram no mundo imediatamente acima do deles.

# Partículas

Alguns experimentos realizados no fim do século XIX introduziram mudanças na concepção da interpretação ondulatória da luz. O efeito fotoelétrico e o espalhamento Compton estão entre as mais relevantes.

No efeito fotoelétrico uma corrente elétrica surge quando a luz incide em um metal. Um exemplo do nosso cotidiano são as células fotoelétricas nas portas automáticas. Esse fenômeno tão comum nos dias de hoje precisou de uma ideia revolucionária para ser compreendido. O físico alemão Albert Einstein (1879-1955) propôs que a luz era formada por corpúsculos que, ao colidirem com os elétrons, os retiravam do metal. Em 1905, explicou o efeito fotoelétrico introduzindo o conceito de quantum de luz, que mais tarde ficou conhecido como fóton.

O físico estadunidense Arthur Holly Compton (1892-1962) em 1923, observou um fenômeno que levou o seu nome: Espalhamento ou Efeito Compton.

Esse efeito consiste na variação do comprimento de onda da radiação eletromagnética dispersada por elétrons livres. O efeito demonstra que a luz não pode ser explicada meramente como um fenômeno ondulatório, pois neste caso não

haveria variação no comprimento de onda. Para explicar o espalhamento Compton, a luz deve agir como se ela consistisse de partículas. Esse experimento convenceu os físicos de que a luz pode agir como uma corrente de partículas cuja energia é proporcional à frequência.

Isaac Newton (1643 -1727):

Defendeu a hipótese que a luz seria composta por pequenas partículas cuja natureza variaria de acordo com a cor da luz.

Albert Einstein (1879 -1955):

Viveu em uma época em que a Teoria Ondulatória se mostrava vencedora, interpretou o efeito fotoelétrico, de acordo com a Teoria Corpuscular da Luz.

Arthur H. Compton (1892 -1962):

O Efeito Compton demonstrava claramente o comportamento das partículas da radiação eletromagnética, abrindo caminho para a aceitação do caráter dual da luz.



# Ondas

Grandes cientistas como Christiaan Huygens (1629-1695), Thomas Young (1773-1829) e Augustin-Jean Fresnel (1788-1827) contribuíram enormemente para o estudo da luz, explicando, através da Teoria Ondulatória, fenômenos experimentais de interferência e difração, característicos do comportamento de uma onda. Com o desenvolvimento das equações do eletromagnetismo, pelo físico escocês James Clerk Maxwell (1831-1879), pôde-se demonstrar que a luz era a propagação ondulatória da combinação de campos elétricos e magnéticos.



# Einstein e o eclipse de Sobral

O espectrógrafo é um aparelho capaz de nos fornecer várias informações através da luz. Ele decompõe a luz nas suas diversas cores (espectros) e com isso podemos obter dados sobre a fonte emissora.

Por exemplo, através da análise do espectro da luz solar pode-se identificar os elementos químicos presentes no Sol, sua abundância e até a temperatura das diversas camadas da atmosfera solar onde estes elementos químicos se encontram. Algumas dessas camadas só podem ser analisadas por ocasião de um eclipse.

O TESTE DA CHAMA é um método de identificação, principalmente de íons metálicos, utilizado na análise química. Neste ensaio, quando uma amostra que se quer analisar é aquecida na chama do bico de Bunsen, ela emite luz, cuja cor é característica dos átomos presentes.

A Teoria da Gravitação Universal de Newton considera a gravidade como uma força que atua à distância entre massas de forma atrativa. Newton entendia a luz como uma partícula e sua teoria previa que a luz de uma estrela seria desviada ao passar bem perto do

Sol, devido à atração de sua grande massa. Já a Teoria Geral da Relatividade de Einstein considera a gravidade como uma deformação do Espaço-Tempo. Sua teoria também previa que a luz de uma estrela seria desviada ao passar perto do Sol, devido à deformação no Espaço-Tempo causada pela sua grande massa.

Porém o desvio seria pouco mais do que o dobro do previsto por Newton. A oportunidade de se provar quem estava certo veio com o eclipse solar total de 1919.

Com a Lua totalmente na frente do Sol, pode-se fotografar as estrelas perto dele, que de outra forma não seriam vistas. Comparando esta foto com outra da mesma região do céu sem o Sol (alguns meses depois da data do eclipse), poderia se medir o desvio das estrelas.

Como neste eclipse a sombra da Lua passaria pelo Brasil, coube ao então diretor do Observatório Nacional, Henrique Morize (1860-1930) a indicação do melhor local para a observação do eclipse.

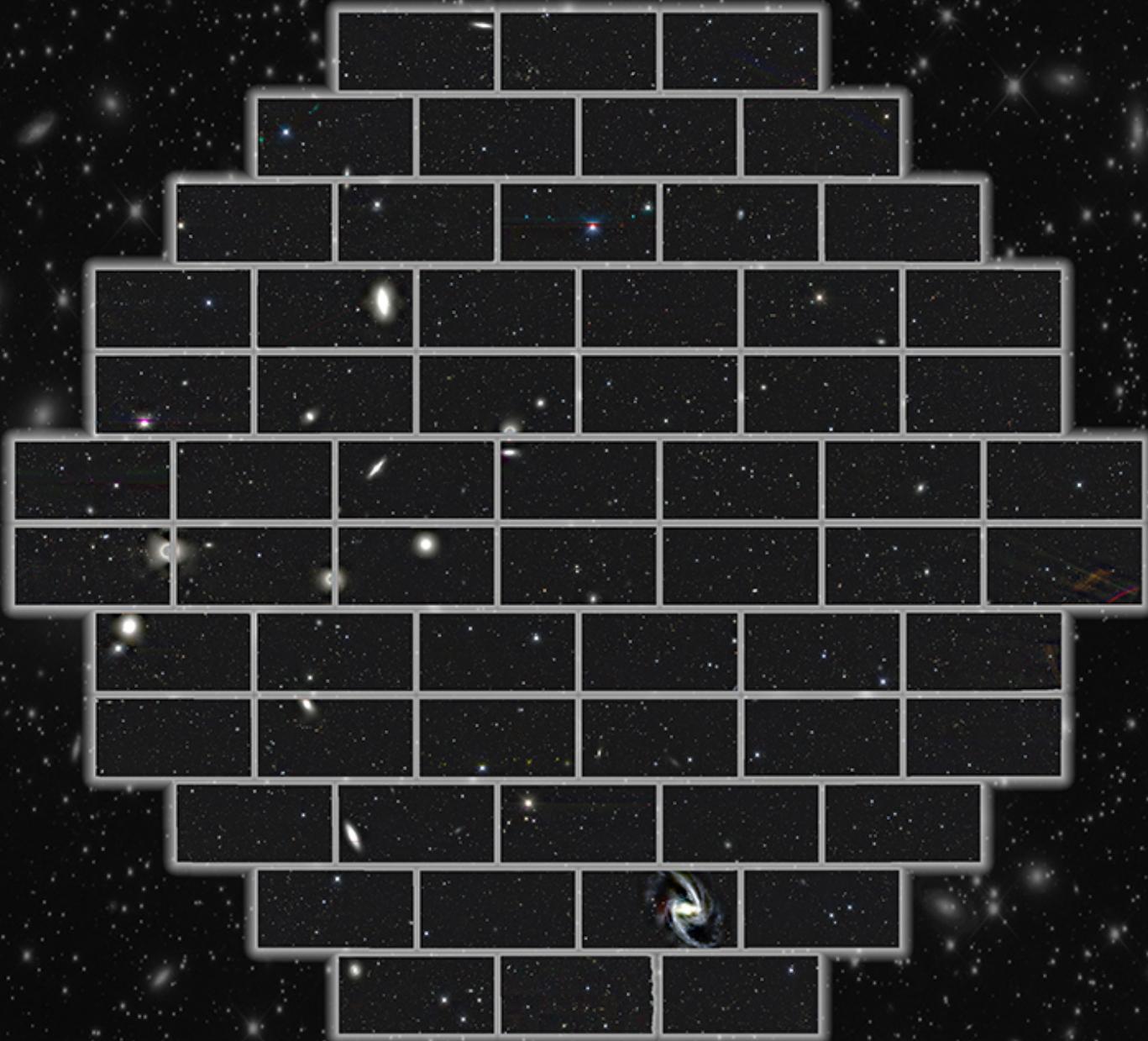
O local escolhido foi a cidade de Sobral/CE e um acampamento astronômico foi montado lá. A delegação inglesa seria a

responsável pelas chapas fotográficas, enquanto a equipe brasileira tinha como objetivo estudar a forma e a disposição da Coroa Solar, assim como sua composição através de imagens espectrógrafas.

Os observadores ingleses conseguiram tirar várias fotografias que foram utilizadas no cálculo da curvatura dos raios luminosos e dar a vitória à teoria de Einstein.

Em maio de 1925, o próprio Einstein, em visita ao Observatório Nacional, agradeceu a contribuição da expedição à Sobral para a comprovação de sua teoria.





# Registros da luz

O uso de placas fotográficas permitiu que a Astronomia avançasse para a investigação a cerca da natureza dos objetos celestes, além de só medir suas posições.

O método de se produzir negativos fotográficos em placas de vidro capazes de gerar imagens em papel com grande detalhe significou um salto qualitativo nas pesquisas astronômicas. As vantagens da fotografia em relação ao olho é que oferecem um registro permanente da imagem, além de se poder integrar no tempo, ou seja, acumular a luz por um longo período de tempo e, portanto detectar fontes muito mais fracas.

Com a Luneta Equatorial Fotográfica era possível mapear todo o céu e com o auxílio do Comparador de Chapas, confrontar fotografias da mesma região do céu em épocas diferentes. Como as estrelas estão praticamente imóveis no céu, ao se perceber que algum objeto está deslocado entre uma chapa e outra, este objeto não pode ser uma estrela. E assim, nesse processo foram descobertos muitos corpos do Sistema Solar, como os asteroides e Plutão.

Usando chapas fotográficas na espectroscopia, os astrônomos foram capazes de demonstrar que as atmosferas

estelares continham os mesmos elementos químicos encontrados na Terra. Outro ramo da Astronomia muito beneficiado com os registros fotográficos foi a Astrometria que estuda a medida precisa da posição e do movimento dos corpos celestes. Neste sentido, a Câmera de Markowitz foi um importante instrumento, que podia registrar na mesma chapa a Lua e as estrelas a sua volta, de forma que se pôde estudar com mais precisão a órbita lunar e a rotação terrestre.

## LUNETAS EQUATORIAIS FOTOGRAFICAS

O instrumento possui um motor de acompanhamento que compensa a rotação da Terra e permite que se faça fotos de uma mesma região do céu com longas exposições. Este motor possui um ajuste fino para tornar este acompanhamento bem preciso. Um vidro despolido era utilizado para se fazer a focalização da câmera e que depois era retirado e substituído por uma chapa fotográfica. Uma segunda lente objetiva era usada para observar o céu e localizar a região que se queria fotografar.



**Museu de Astronomia e Ciências Afins**  
**Rua General Bruce, 586 | São Cristóvão | Rio de Janeiro CEP: 20.921-030**  
**Tel. 21 3514-5200 | [mast@mast.br](mailto:mast@mast.br)**