



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO ARAGUAIA
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

**UMA NOVA ABORDAGEM DE CONCEITOS DE FÍSICA
E ASTRONOMIA A PARTIR DO DIAGRAMA HR**

ANDERSON ANDRÉ PEREIRA BELONI

Barra do Garças-MT
2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO ARAGUAIA
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

UMA NOVA ABORDAGEM DE CONCEITOS DE FÍSICA E
ASTRONOMIA A PARTIR DO DIAGRAMA HR

ANDERSON ANDRÉ PEREIRA BELONI

ORIENTADOR DR.ADELLANE ARAUJO SOUSA

Produto educacional desenvolvido no programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física da Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Universitário do Araguaia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Barra do Garças-MT
2016

SUMÁRIO

| | | |
|------|--|----|
| 1. | APRESENTAÇÃO..... | 4 |
| 2 | INTRODUÇÃO..... | 5 |
| 3. | DIAGRAMA DE HERTZSTPRUNG-RUSSELL | 6 |
| 4. | DIAGRAMA HR E EVOLUÇÃO ESTELAR | 11 |
| 5. | MONTAGEM DO DIAGRAMA HR | 12 |
| 5.1. | MATERIAIS UTILIZADOS..... | 12 |
| 5.2. | MONTAGEM | 13 |
| 7. | APPLET DO DIAGRAMA HR..... | 19 |

1. APRESENTAÇÃO

Este produto educacional tem como objetivo ensinar a construir e aplicar uma maquete tridimensional do Diagrama Hertzsprung-Russell (HR) em sala de aula. Esse diagrama mostra a relação entre cor (temperatura) e massa/tamanho (luminosidade) das estrelas e nos permite estudar o ciclo evolutivo de uma estrela e partir dele, aprender e inter-relacionar conceitos de Astronomia e Física.

Na construção da maquete, procuramos deixar em evidência as quatro regiões mais importantes dessa representação gráfica, as quais representam as gigantes azuis, as gigantes vermelhas, a sequência principal e as estrelas anãs brancas, sendo utilizados alguns materiais na sua produção tais como: tubo de aço, barras de ferro, lâmpadas, fios e um transformador

Opcionalmente e complementarmente também descrevemos como usar um *applet* desenvolvido pela Universidade do Nebraska no entendimento do diagrama no caso da impossibilidade da construção da maquete tridimensional.

Antes de iniciar os experimentos com a maquete ou o *applet*, é aconselhável o professor apresentar um texto aos alunos contendo algumas explicações teóricas para o entendimento do diagrama, bem com um histórico de seu desenvolvimento. Para isso fornecemos alguns “slides” sobre o assunto. Alguns desses slides podem ser substituídos ou complementados pelo professor.

Este produto pode ser aplicado em um tempo estimado de 06 horas-aula de Física no quarto bimestre nos segundos anos do ensino médio, incluindo uma discussão prévia sobre o Diagrama HR, sua relação com a evolução estelar, o uso da maquete tridimensional e o uso do *applet*. Durante as atividades, pode-se relacionar conceitos de Física e Astronomia tais como pressão, temperatura, radiação, comprimento de onda, frequência da onda, deslocamento de Wien, corpo negro, espectro eletromagnético, início, evolução e fim das estrelas, cor, temperatura, relação massa/luminosidade estelar e magnitude.

2. INTRODUÇÃO

As pesquisas acerca do ensino de Física no ensino médio vêm demonstrando um acentuado desinteresse e desmotivação por parte dos alunos, devido, principalmente, ao modo no qual seus conceitos são apresentados e desenvolvidos em sala de aula. Na maioria dos casos, estes conceitos são apresentados por meio de memorização de fórmulas e resoluções de problemas repetitivos e excessivamente matemáticos, ou seja, com mais ênfase em uma aprendizagem mecânica, pouco significativa. Essa aprendizagem mecânica ocorre quando as novas informações são aprendidas sem interagir com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva. Assim, o aluno decora fórmulas, leis, princípios e outros, mas muitas vezes esquece tudo isso após os processos avaliativos tradicionais. Estudos dos processos de ensino-aprendizagem, como Ausubel, mostram que a aprendizagem torna-se mais significativa à medida em que o novo conteúdo é incorporado às estruturas de conhecimento do aluno, adquirindo significado para ele a partir da relação com seu conhecimento prévio.

A introdução de temas da Astronomia na sala de aula, como a evolução estelar, permite aos alunos apreender diversos conceitos de Física e Astronomia, através de uma aprendizagem mais lúdica, contextualizada e significativa. Dessa forma, podemos ensinar conceitos de Física, tais como: pressão, temperatura, emissão de radiação dos objetos (Lei de Stefan Boltzmann), comprimento de onda, frequência da onda, deslocamento de Wien (Lei de Wein), corpo negro, espectro eletromagnético, bem como conceitos de Astronomia, tais como: início, evolução e fim das estrelas, suas cores, temperaturas, relações massa/luminosidade estelares e magnitudes. Esses novos conceitos não normalmente apresentados nos livros didáticos. Estes costumam discutir apenas os conceitos sobre Gravitação Universal e Leis de Kepler,

Um instrumento usado na astronomia para representar uma relação entre a luminosidade e temperatura superficial de uma estrela é um gráfico denominado de Diagrama Hertzsprung-Russell ou Diagrama HR, descoberto independentemente pelo dinamarquês Ejnar Hertzsprung (1873-1967), em 1911, e pelo americano Henry Norris Russell (1877-1957), em 1913. Hertzsprung descobriu que estrelas da mesma cor podiam ser divididas entre luminosas, que ele chamou de gigantes, e estrelas de baixa luminosidade, que ele chamou de anãs. A temperatura superficial da estrela está associada à sua cor. Esse diagrama também fornece uma espécie de “fotografia” do estágio de evolução de uma estrela. As posições ocupadas pelas estrelas no mesmo é determinada

por sua temperatura ou cor e luminosidade ou massa. O que, evidencia que estrelas evoluem, ou seja, suas massas e temperaturas podem variar ao longo do ciclo estelar e, assim, mudar a posição da estrela no diagrama. Através do diagrama também é possível compreender que o Sol hoje ocupa uma posição que não será a mesma posição que ele ocupará no futuro, ou seja, a cor e tamanho do Sol hoje não serão os mesmos com o passar do tempo.

Embora a maquete seja um elemento “sensorial” que representa um modelo que descreve os possíveis estágios evolutivos das estrelas e seja importante para a compreensão dos alunos, podemos lançar mão de outros recursos que são cruciais na construção dos conceitos envolvidos e em seu entendimento. Dentre estes recursos disponíveis na internet podemos citar alguns *applets* do *PHET*, um projeto da Universidade de Colorado dos Estados Unidos da América, concebido para desenvolver simulações de alta qualidade em diversas áreas da ciência. Temos também o laboratório de Astronomia Introdutória e o projeto de mini aplicativos de Astronomia da Universidade de Nebraska, para o ensino dessa disciplina. Na próxima seção passamos à discussão do Diagrama HR.

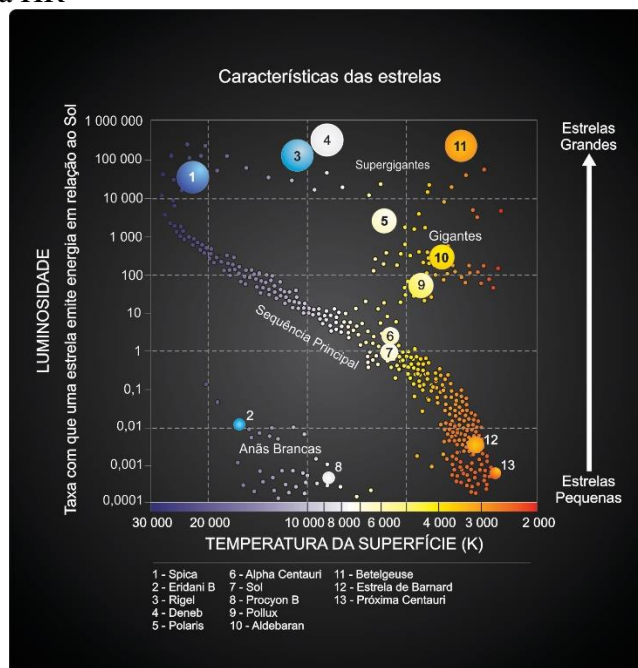
3. DIAGRAMA DE HERTZSPRUNG-RUSSELL

Este tópico tem como objetivo iniciar as discussões acerca do diagrama HR. Para tanto utilizamos de slides para apresentação de alguns aspectos do diagrama. O tempo previsto para o uso desses slides é de 01 hora-aula.

Iniciamos nossos trabalhos a partir de um histórico sobre as origens deste modelo de estudo, o qual foi concebido de forma independente pelo dinamarquês Ejnar Hertzsprung e, o americano Henry Norris Russell, ao descobrirem uma relação entre a luminosidade e a temperatura superficial de uma estrela.

Este diagrama é uma das mais importantes ferramentas no estudo da evolução estelar, haja vista, que este possibilita o estudo das propriedades características de cada estrela tais como luminosidade, temperatura e raio. Na figura 1, temos uma representação desse diagrama.

Figura 1. Diagrama HR



Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node2.htm> Acesso em: 17/02/2015.

Em suma, o diagrama HR é um gráfico, no qual convencionou-se para o eixo das abcissas o parâmetro temperatura, aumentado da direita para a esquerda e, o parâmetro luminosidade no eixo das ordenadas, aumentando seus valores de baixo para cima numa escala exponencial.

Ao observar um diagrama HR notamos que ele não apresenta uma distribuição uniforme das estrelas, mas percebemos uma concentração destas numa estreita faixa diagonal, denominada de sequência principal.

Embora existam outras regiões no diagrama HR onde verificamos existir grande concentração de estrelas. As estrelas mais luminosas, por exemplo, denominadas supergigantes, estão localizadas na parte superior e à esquerda da sequência principal.

Já as estrelas na parte superior, porém do lado direito da sequência principal são denominadas de gigantes vermelhas e, as de baixa luminosidade e relativamente quente na parte inferior esquerda da sequência principal, são as anãs brancas.

Na sequência principal encontramos as estrelas que ao contrário das outras regiões apresentam temperaturas, por exemplo, entre 3000K e 25000K, ou seja, as estrelas da sequência principal podem apresentar qualquer temperatura e, correspondente

luminosidade. Isso ocorre devido ao fato de nesta faixa encontrarmos as estrelas que ainda estão realizando a transformação do hidrogênio em hélio e, em razão desta transformação passam a maior parte de suas vidas na sequência principal, ou seja, a propriedade que define a sequência principal é a massa da estrela, haja vista, que estrelas menos massivas demoram muito mais tempo para consumir seu combustível.

Porém, com o passar de alguns milhões ou bilhões de anos estas estrelas começam a sofrer mudanças em sua estrutura interna, ocasionando variações de densidade, tamanho, temperatura e luminosidade. Mudanças que irão promover o deslocamento da estrela ao longo do diagrama HR. Marco do findar de uma estrela.

Por tanto, o diagrama HR estabelece a relação entre temperatura e luminosidade de uma estrela, por meio da relação:

$$L \sim R^2 T^4$$

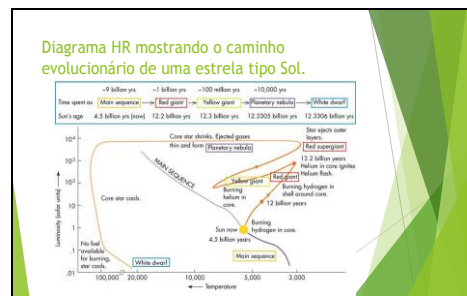
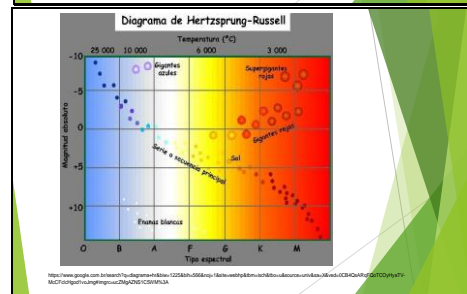
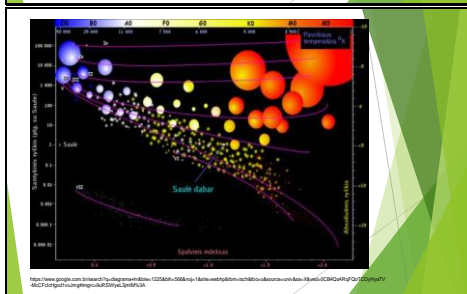
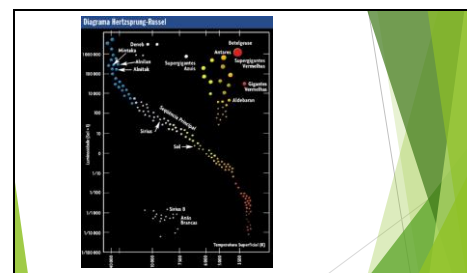
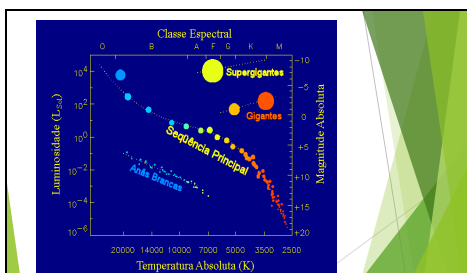
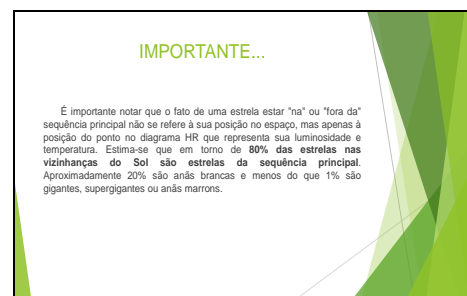
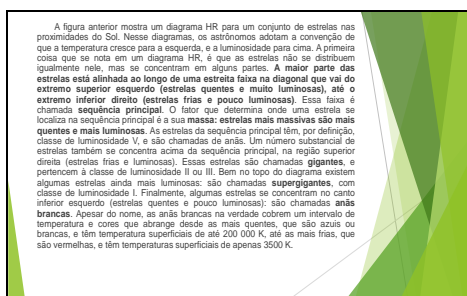
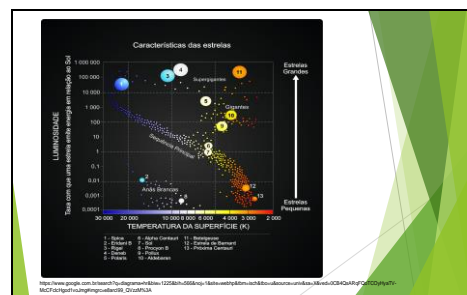
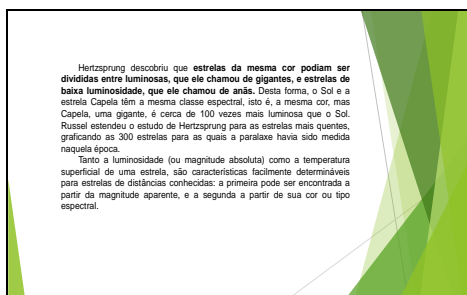
Na qual, a luminosidade observada L de uma estrela é proporcional ao produto do valor de seu raio elevado ao quadrado pelo valor de sua temperatura elevada à quarta potência.

Assim, o que torna este diagrama importante para os estudos da evolução estelar, é o fato de podermos alterar os padrões de amostra, ou seja, podemos gerar um padrão de amostra de estrelas como: para as mais brilhantes, limitadas pela distância ao Sol ou, de um determinado aglomerado, dessa forma, o diagrama HR nos permite estudar os processos sob diversas formas, o que nos permite uma compreensão e entendimento dos processos da evolução estelar, a partir de suas propriedades características como luminosidade, temperatura e raio.

Na figura 2 seguem os *slides* utilizados na apresentação e estudo do tópico.

Figura 2. Apresentação do Diagrama HR.





COMO AS ESTRELAS SE FORMAM?

Nada no Universo existe para sempre, talvez nem mesmo o próprio Universo. Todas as estrelas que vemos hoje um dia se formaram, vão evoluir e posteriormente desaparecer. Muitas já desapareceram sem que nem ao menos ficassemos sabendo. Inúmeras outras estrelas vão surgir.

O início: o colapso gravitacional em uma nuvem molecular gigante

As estrelas se formam no interior de nuvens moleculares gigantes, densas e muito frias.

Estas estrelas recentemente formadas são muito difíceis de serem observadas devido à grande presença de poeira interestelar nas regiões em que elas são geradas. É por esta razão que ainda temos dúvidas sobre o processo real que leva à formação de uma estrela.

Se existem regiões do meio interestelar que se caracterizam por permitirem grande formação de estrelas, quais são as condições físicas que as tornam tão especiais?

Desenhamos que uma nuvem molecular gigante colapsa e forma estrelas. Mas, porque ela colapsa? Sabemos que, por algumas razões físicas externas a ela e que até hoje não são completamente compreendidas, uma determinada região de uma nuvem molecular gigante em algum momento começa a contrair sob a ação de sua própria gravidade.

Os astrofísicos acreditam que vários processos podem dar início a esta contração de parte da nuvem molecular. Por exemplo:

- Duas nuvens moleculares que colidem: neste caso, o processo de colisão varia com que, em certas regiões, a densidade de partículas de gás aumentasse o suficiente para que a força da gravidade entre elas iniciasse o processo de contração gravitacional. Lembre-se que a força da gravidade varia com o inverso do quadrado da distância entre os objetos: quanto menor a distância entre eles maior é a intensidade dessa força. Se as nuvens colidem, as partículas de gás e poeira ficam mais próximas umas das outras e, portanto, a ação da força gravitacional entre elas aumenta.
- Observamos que os braços espirais da nossa Galáxia são percorridos por perturbações chamadas **ondas de densidade**. Essas perturbações, ao passarem pelas regiões dos braços espirais da Galáxia onde estão as nuvens moleculares gigantes, provocam a sua compressão. Comprindo o gás, a distância entre as partículas diminui, o que significa que a força de atração gravitacional entre elas aumenta, tão poderosa ser o início do processo de contração gravitacional de algumas partes dessas nuvens.
- a explosão de uma estrela ou seja, a formação de uma supernova, próximo a uma nuvem molecular gigante. Quando uma estrela explode, uma quantidade enorme de gás é lançada no espaço interestelar com altas velocidades. Se há uma nuvem molecular na região onde está passando acontecendo, vem um processo de colisão entre nuvens gasosas semelhantes ao descrito acima.
- Instabilidade gravitacional/magnética nas regiões de maior densidade dessas nuvens poderiam dar início ao colapso de uma região de uma nuvem molecular gigante.
- Todos os processos acima atuando juntos, com maior ou menor intensidade, poderiam também dar início ao colapso de parte da nuvem molecular gigante.

Na verdade as ações que fazem iniciar o processo de contração de uma parte de uma nuvem molecular gigante ainda não são completamente compreendidas.

O que sabemos é que, a partir de uma ação externa que atua sobre a nuvem molecular gigante, suas regiões mais densas começam a se contrair sob a ação de sua própria gravidade. Durante este processo, a região da nuvem molecular gigante que está contraindo não o faz de modo inteiro, dando origem a um único objeto. Na verdade, após o início deste processo de contração gravitacional, esta parte da nuvem molecular gigante que iniciou a contração fragmenta-se em pequenas nuvens.

Cada uma destas pequenas nuvens possui massa suficiente para formar uma estrela. São estas pequenas nuvens que continuam a colapsar formando os objetos que chamamos de **protoestrelas**. Esta também é a razão pela qual sempre são formados grupos de estrelas e não estrelas isoladas.

Durante todo o processo de contração gravitacional que partes da nuvem molecular gigante estão sofrendo há a liberação de energia potencial gravitacional. Metade desta energia liberada aquece a nuvem molecular enquanto que a outra metade da energia é irradiada para fora dela sob a forma de radiação térmica.



AS PROTOESTRELAS

O colapso inicial de parte de uma nuvem molecular gigante ocorre rapidamente durante um período de cerca de 1000 anos. Sabemos, a partir da segunda lei de Newton, que a força gravitacional entre duas partículas com massa é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas. Em forma matemática escrevemos que:

$$F_{\text{gravitacional}} \propto 1/d^2$$

Consequentemente, na região central de uma protoestrela a ação da gravidade é muito maior do que na periferia desta nuvem, que próximo ao seu centro, a distância entre as partículas é muito menor, o que faz com que a força de atração gravitacional F que existe entre as partículas de gás seja maior. A ação da gravidade é mais forte na região central da protoestrela esta região contrai mais rapidamente. Em razão disso mais energia será liberada na região central da protoestrela fazendo com que o centro se torne mais quente do que as suas regiões mais externas.

Além disso, à medida que a esfera gasosa central seu raio diminui, o que significa que as partículas de gás ficam cada vez mais próximas. Com isso aumentam os processos de colisão entre as partículas do gás, o que provoca o aumento de sua temperatura.

Uma equação básica da física de gases, a "lei do gás perfeito", nos diz que a pressão está relacionada com a temperatura da seguinte forma:

$$PV = nRT$$

onde P é a pressão e T é a temperatura do gás. Por esta equação podemos ver que o aumento da temperatura provoca o aumento da pressão interna na protoestrela.

O tempo de vida das estrelas.

O tempo de vida de uma estrela é a razão entre a energia que ela tem disponível e a taxa com que ela gasta esta energia, ou seja, sua luminosidade. Como a luminosidade da estrela é tanto maior quanto maior é a sua massa ($L \propto M^3$), resulta que o tempo de vida é controlado pela massa da estrela: **quanto mais massiva a estrela, mais rapidamente ela gasta sua energia, e menos tempo ela dura.**

A RELAÇÃO MASSA-LUMINOSIDADE E A RELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA-LUMINOSIDADE

Segundo observações:

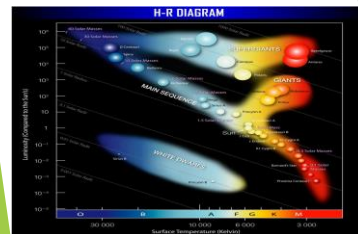
$$M \geq 3M_{\odot}, L \propto M^3$$

$$3M_{\odot} \geq M \geq 0,5M_{\odot}, L \propto M^4$$

$$0,5M_{\odot} \geq M, L \propto M^{2,5}$$

O diagrama HR estabelece a relação entre temperatura e luminosidade de uma estrela, por meio da relação:

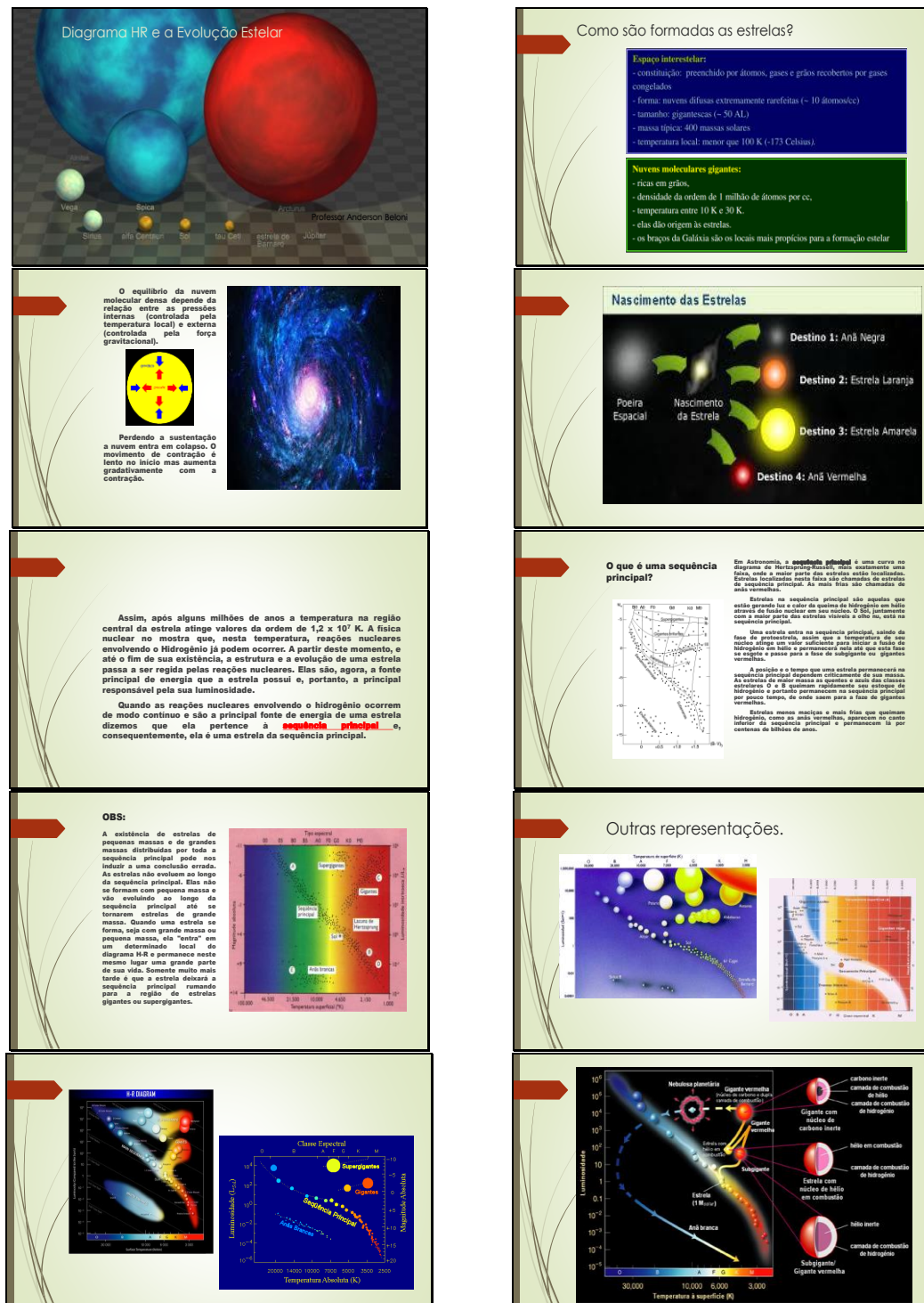
$$L \sim R^2 T^4$$

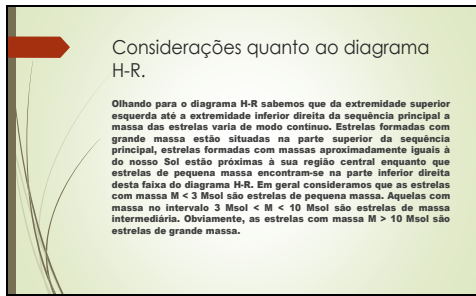


4. DIAGRAMA HR E EVOLUÇÃO ESTELAR

Nosso objetivo agora é de estabelecer uma discussão entre o diagrama HR e a evolução estelar. O tempo previsto para esse estudo é de 01 hora-aula. Para tanto, iniciamos a apresentação dos *slides* na figura 3 abaixo.

Figura 3 Relação entre o Diagrama HR e a Evolução Estelar





5. MONTAGEM DO DIAGRAMA HR

Passamos agora a descrever os materiais e os procedimentos utilizados na construção da maquete tridimensional do diagrama. Por uma questão de redução de custos, o professor pode construir uma maquete com dimensões menores e materiais alternativos.

5.1 MATERIAIS UTILIZADOS

- 02 latas de tinta 18 litros;
- 10,6 m de tubo de 2”;
- 0,30 m de tubo de 1” ½;
- 12 m de fio preto 1,5 mm;
- 10 m de fio amarelo 1,5 mm;
- 42 m de fio azul 1,5 mm ;
- 01 esfera de ferro mecânico de ¼ com raio igual a 0,75 m;
- 01 esfera de ferro mecânico de ¼ com raio igual a 0,58 m;
- 01 esfera de ferro mecânico de ¼ com raio igual a 0,25 m;
- 01 esfera de ferro mecânico de ¼ com raio igual 0,15 m;
- 01 esfera de ferro mecânico de ¼ com raio igual 0,10 m;
- 01 esfera de ferro mecânico de ¼ com raio igual 0,08 m;
- 20 kg de cimento;
- 01 caixa de interruptor para 6 interruptores;
- 06 interruptores;
- 7,1 m de tecido failete azul;

- 4,3 m de tecido failete vermelho;
- 0,8 m de tecido failete alaranjado;
- 0,3 m de tecido failete amarelo;
- 0,13 m de tecido failete vermelho;
- 0,10 m de tecido failete branco;
- 02 lâmpadas dicroica bipino de 20W;
- 02 lâmpadas dicroica bipino de 50W;
- 02 lâmpada dicroica bipino de 75W;
- 01 transformador E110/220V minuzzi S 60hz 12V 500VA;
- 06 soquetes dicroica com base GY6,35 e rabicho de 20cm;
- 01 rola de fita isolante;
- 01 interruptor;
- 02 m de fio 2,5mm;
- 10 m cabo de aço 2 mm;
- 10 m de velcro duplo.

5.2. MONTAGEM

Para construção da maquete tridimensional do Diagrama HR foi necessário inicialmente contar com os serviços de um serralheiro, na confecção da estrutura de ferro, o qual construiu as esferas de ferro e um tubo em U com 2,80 m de altura e 5,00 m de comprimento, de modo que o equipamento fosse dividido em três partes, duas de 2,80 m das hastes e 5,00 m da parte superior. Para tanto, foi necessário fazer uma solda na parte interna das hastes de 2", com o tubo 1" ½ de 15 cm nas pontas, onde se encaixa a parte superior de tubo de 2". Este serviço teve um custo de 1.600,00 (hum mil e seiscentos reais).

A partir da confecção da estrutura fixamos as hastes dentro das latas de tinta com concreto. Em seguida fizemos seis buracos utilizando de uma furadeira, conforme projeto abaixo, por onde passamos os fios da ligação elétrica.

Como o tubo de 2" não nos permitia a passagem de vários fios, a ligação elétrica deu-se da seguinte forma: puxamos um fio neutro preto da esfera de raio de 0,10m até a caixa das tomadas e um azul fase até a caixinha de luz, as demais utilizamos do fio amarela das esferas até o neutro preto e o fio azul fase até a caixinha de luz.

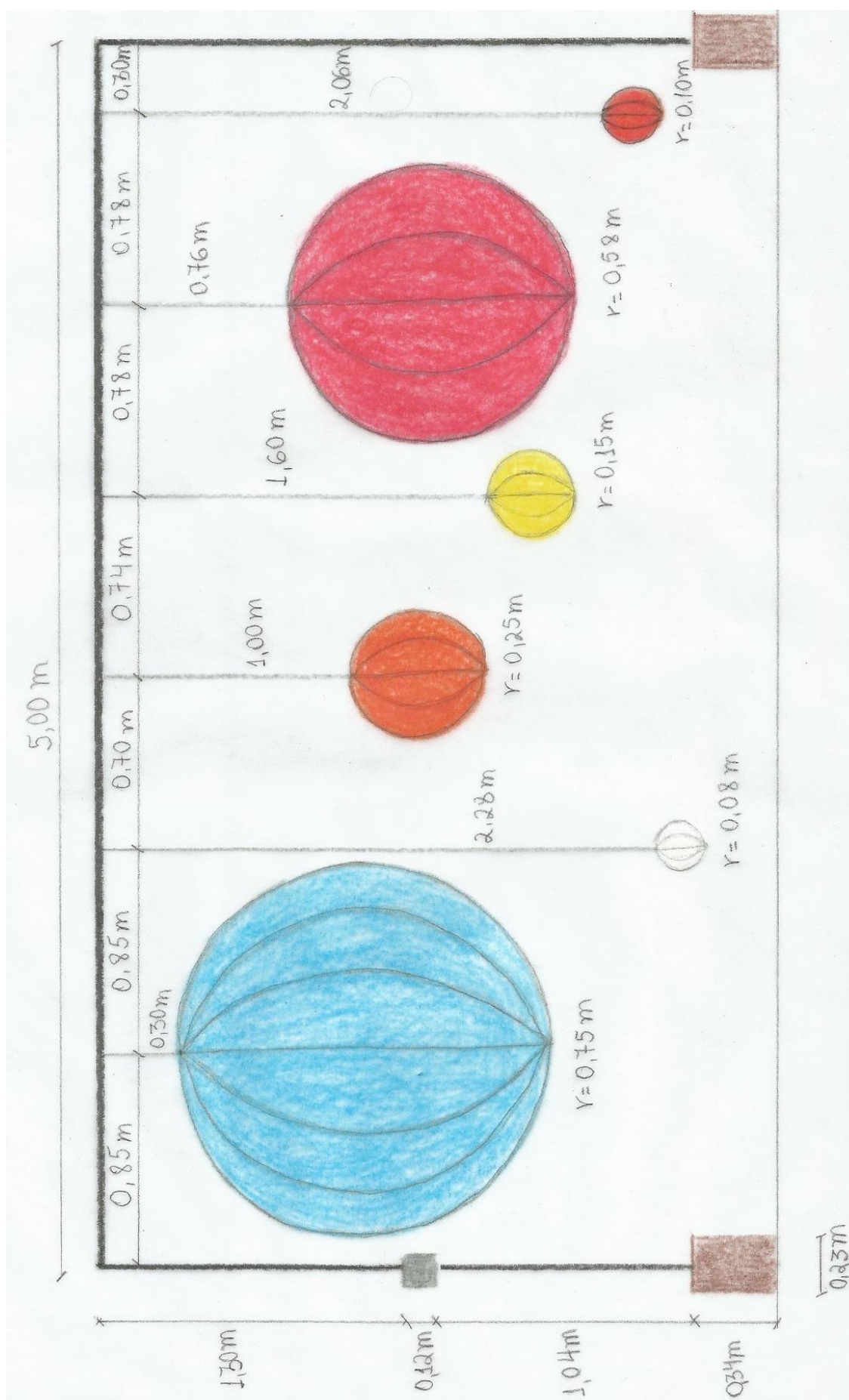
Na ligação do transformador, ligamos este a caixinha de luz e deste fizemos uma ligação com fio 2,5 mm até um interruptor que o liga a tomada de luz de 220V.

Após as ligações dos fios instalamos as esferas, fixadas por cabo de aço de 2 mm e presilhas de chumbo de aperto e, as esferas de tecidos nas cores acima em tecido com abertura em velcro (confeccionadas por uma costureira). Em seguida, instalamos para cada esfera um soquete, lâmpadas e com tecido da seguinte forma:

- 01 esfera azul com lâmpada de 75W (gigante azul);
- 01 esfera vermelha com lâmpada de 75W (gigante vermelha);
- 01 esfera alaranjada com lâmpada de 50W (estrela maior que o sol);
- 01 esfera amarela com lâmpada de 50W (sol);
- 01 esfera vermelha com lâmpada de 25W (estrela menor que o sol);
- 01 esfera branca com lâmpada de 25W (anã branca).

Segue abaixo o projeto do diagrama HR “3D” com as respectivas medidas utilizadas na sua construção.

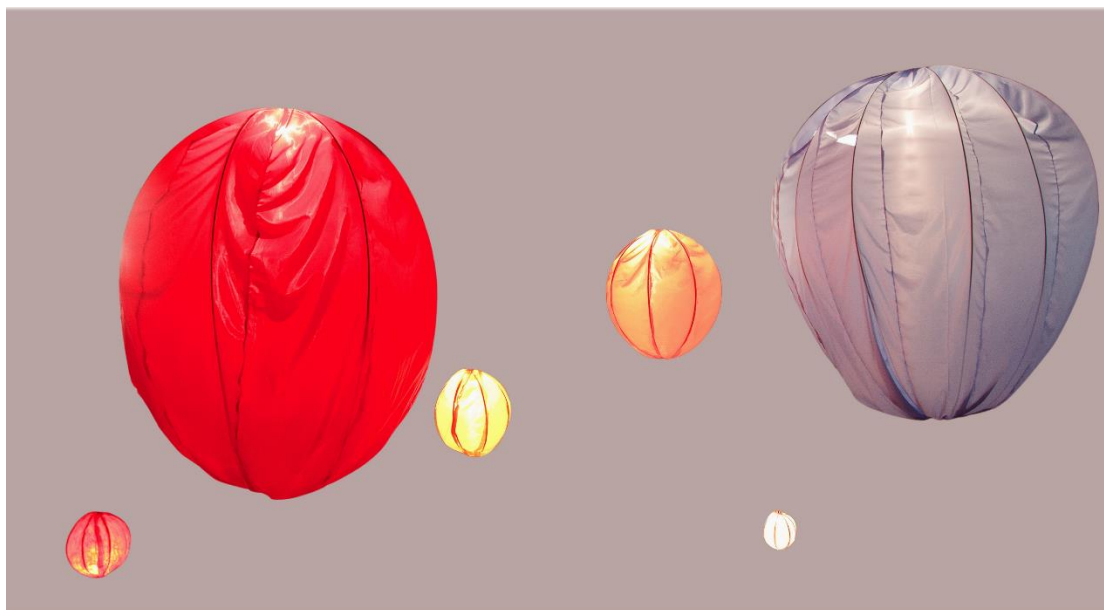
Figura 4. Esquema da Maquete Tridimensional do Diagrama HR



6. ROTEIRO PARA INTERAÇÃO DOS ALUNOS COM O MAQUETE

Nesta seção, temos como intuito apresentar um roteiro ou proposta didática, para a aplicação da maquete tridimensional do diagrama HR em sala de aula ou em outro espaço. Contudo, cabe ressaltar que este não deve ser compreendido como uma sugestão pronta e acabada, mas sim de uma proposta inicial sujeita a transformações e adequações necessárias a realidade na qual será inserida.

Figura 5. Fotografia da Maquete Tridimensional do Diagrama HR



Fonte: Arquivo pessoal

A partir deste ponto, apresentamos um roteiro de aplicação do diagrama e seu desenvolvimento no processo ensino-aprendizagem. Para tanto consideraremos situações onde a maquete estará com as luzes todas acesas ou todas apagadas conforme as figuras:

Figura 6. Diagrama HR “3D” luzes apagadas



Figura 7. Diagrama HR “3D” luzes acesas.



Fonte: Arquivo pessoal

Fonte: Arquivo pessoal

- 1) Inicialmente apresentamos o diagrama apagado e consideramos as seguintes questões:
 - a) Observado o diagrama, existe alguma disposição especial ou padrão de localização para as estrelas?
 - b) Por quê as estrelas possuem tamanhos diferentes e qual a relação disso com a disposição delas apresentado no diagrama?
 - c) Dentre as estrelas do diagrama qual corresponde ao nosso Sol?
- 2) Com todas as lâmpadas acessas considere as perguntas.
 - a) Por quê as estrelas possuem cores diferentes?
 - b) Por quê as estrelas possuem brilhos diferentes?
- 3) Agora acenda apenas a lâmpada referente ao Sol e depois todas as outras lâmpadas e responda
 - a) Comparado com outras estrelas, o Sol é quente ou frio? É grande ou pequeno?
 - b) Será que podemos determinar a temperatura do Sol através de sua cor?
 - c) Por que a cor do Sol é branca no diagrama? Não deveria ser amarela?
- 4) Agora acenda apenas a lâmpada referente a estrela vermelha e depois todas as outras lâmpadas e responda
 - a) Por que essa estrela chamada de Gigante Vermelha é maior do que as estrelas amarelas e brancas?
 - b) Como essa estrela é maior do que as amarelas e branca podemos considerá-la mais quente?
 - c) A cor vermelha é mais “quente” do que a cor azul?
- 5) Agora acenda apenas a lâmpada referente a estrela azul e depois todas as outras lâmpadas responda
 - a) Por que essa estrela chamada de Supergigante Azul é maior do que as estrelas Gigante Vermelha amarelas e branca? Ela é mais brilhante ou luminosa do que as outras?

- b) Como essa estrela é maior do que as amarelas e brancas podemos considerá-la mais quente?
 - c) A cor azul é mais “fria” do que a cor vermelha?
 - d) Por que o Sol não é uma estrela azul?
 - e) Por que não existe estrela na cor verde no diagrama?
-
- 6) Apesar de usar lâmpadas de luz branca por dentro de todas as esferas que representam as estrelas, por quê quando as acendemos elas apresentam a cor do tecido que as envolve?
 - 7) Será que existe uma relação entre a massa, tamanho, cor, temperatura, brilho e a posição da estrela no diagrama?
 - 8) Como sabemos que as estrelas possuem temperaturas, massas e tamanhos diferentes?
 - 9) Brilho e luminosidade da estrela são conceitos equivalentes?
 - 10) Construa um diagrama representando a evolução do Sol.
 - 11) Quais são as unidades de medida usamos para medir a distância das estrelas ao nosso planeta? Existem outras?

Conceitos de Física e Astronomia envolvidos no estudo do diagrama:

- Unidade de medida;
- Fontes de luz;
- Definição corpuscular e ondulatória da luz;
- Meios de propagação;
- Princípios da óptica geométrica;
- Sombra e penumbra;
- Velocidade e Cor da luz;
- Processos de Transmissão de Calor
- Cor de um corpo;
- Filtro de luz.
- Calor e Temperatura

- Densidade;
- Pressão;
- Corpo negro;
- Deslocamento Wein;
- Lei de Stefan-Boltzmann;
- Magnitude aparente e absoluta
- Relação massa-luminosidade;
- “Nascimento” das estrelas
- Evolução das estrelas;
- A “morte” de uma estrela;.
- A vida de uma estrela após a sequência principal;

7. APPLET DO DIAGRAMA HR

Os estudantes devem ser encorajados no uso de simulações computacionais (*applets*) do Diagrama HR para um aprofundamento ou complementação do entendimento desse diagrama que até então foi estudado via maquete. Essas simulações ou *applets*, foram desenvolvidos pela Universidade de Nebraska-Lincoln (UNL), nos Estados Unidos. O tempo previsto para essas simulações é de 02 horas-aula.

No laboratório de informática, deve-se solicitar aos alunos que acessem a internet e entrem na página da UNL e, no link do *Nebraska Astronomy Applet Project* ([NAAP](#)). Após isso, deve-se entrar na página do [Laboratório do Diagrama Hertzsprung-Russel](#).

Em seguida, deve-se solicitar aos alunos para acessarem um texto da classificação espectral, na parte inferior da página em material de fundo. Esse texto traz uma discussão da importância do espectro (gráfico que expressa a intensidade em função do comprimento de onda de um corpo) contínuo e descontínuo, gerados pela irradiação estelar ao atravessar as sucessivas camadas de uma estrela, descrito pelas três Leis de Kirchhoff.

Como, por exemplo, no caso do Sol que ao irradiar energia de seu núcleo, essa quando atingir as regiões mais externas de temperatura inferior em relação ao núcleo em parte é absorvida e, reemitida em todas direções. Assim, o espectro obtido por astrônomos na Terra do Sol ou de qualquer outra estrela é um espectro de absorção.

A importância do espectro de absorção para os astrônomos é tal, que estes criaram uma classificação espectral descrevendo as linhas de absorção de um espectro, em sete categorias OBAFGKM e, para cada uma, 10 subclasses.

Tabela 1. Classificação Espectral

| Classificação | Temperatura | Max Wavelength | Cor |
|---------------|-------------|----------------|----------------|
| O0 | 40.000 K | 72,5 nm | Azul |
| B0 | 20.000 K | 145 nm | Azul Claro |
| A0 | 10.000 K | 290 nm | Branco |
| F0 | 7.500 K | 387 nm | Amarelo-Branco |
| G0 | 5.500 K | 527 nm | Amarelo |
| K0 | 4.000 K | 725 nm | Laranja |
| M0 | 3.000 K | 966 nm | Vermelho |

Fonte: http://astro.unl.edu/naap/hr/hr_background1.html acessado em: 15/01/2015.

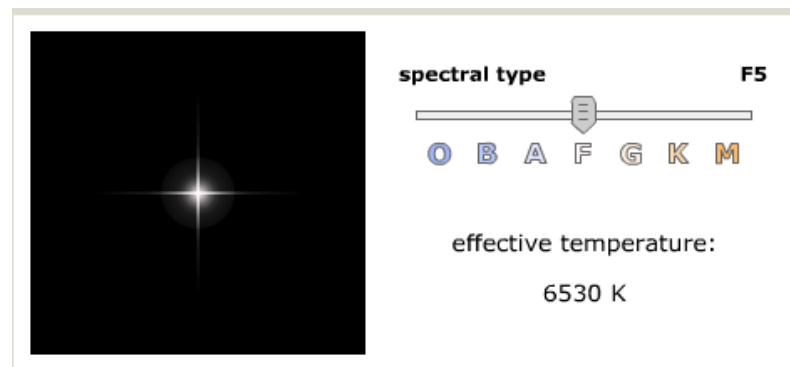
A tabela acima expressa à correspondência entre a classificação espectral, a cor da estrela, temperatura superficial e o pico de comprimento de onda obtido pela curva de Planck. Sendo, que o último nos permiti rememorar a aula com o aplicativo do corpo negro e nos demonstra novamente ao observar os valores da tabela de temperatura e comprimento de onda, à medida que a temperatura da quantidade de energia irradiada aumenta, o comprimento de onda move-se para valores mais energéticos e menores.

Em seguida realizamos o exercício prático de manipular um *applet*, arrastando o seu cursor por diferentes tipos espectrais que nos demonstram as mudanças de temperatura, cor, brilho. Assim, os alunos podem responder às seguintes questões:

- 1) Quais são as temperaturas e cores de superfície:
 - a- Uma estrela quente O2?
 - b- Anã vermelha M3?

- c- Uma estrela G2 como o Sol?
- 2) Qual é o tipo espectral de uma estrela com:
 - a- Temperatura de 15.000K?
 - b- Temperatura de 4.800K?
- 3) Qual é a cor de uma estrela com:
 - a- Tipo espectral B2?
 - b- Temperatura de superfície de 3600K?

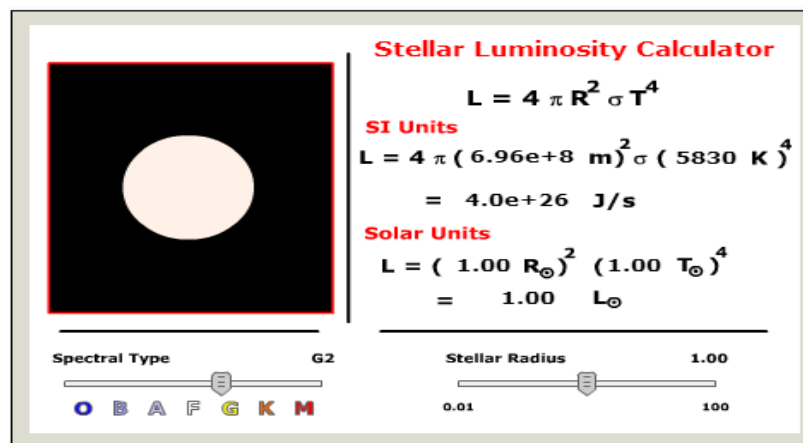
Figura 8. Imagem do *Applet* sobre Correlação entre Temperatura, Cor, Brilho e Tipo Espectral



Fonte: http://astro.unl.edu/naap/hr/hr_background1.html acessado em: 15/01/2015.

Em seguida, os alunos podem utilizar um outro *applet* chamado de Calculadora da Luminosidade Estelar, no qual, conforme o tipo espectral e o raio da estrela em relação ao raio do Sol, pode-se calcular a luminosidade da estrela em relação as unidades do Sistema Internacional (SI) e em unidades solares (tendo o Sol como padrão).

Figura 9. Imagem do *Applet* sobre Luminosidade Calculadora Estelar



Fonte: http://astro.unl.edu/naap/hr/hr_background2.html Acessado em: 15/01/2015.

A seguir, os alunos devem responder as seguintes questões:

- 1) Qual é a luminosidade de uma estrela que é o triplo do tamanho do Sol, mas tem a mesma temperatura da superfície?
- 2) Qual a luminosidade de uma estrela que é metade do Sol e duas vezes mais quente?

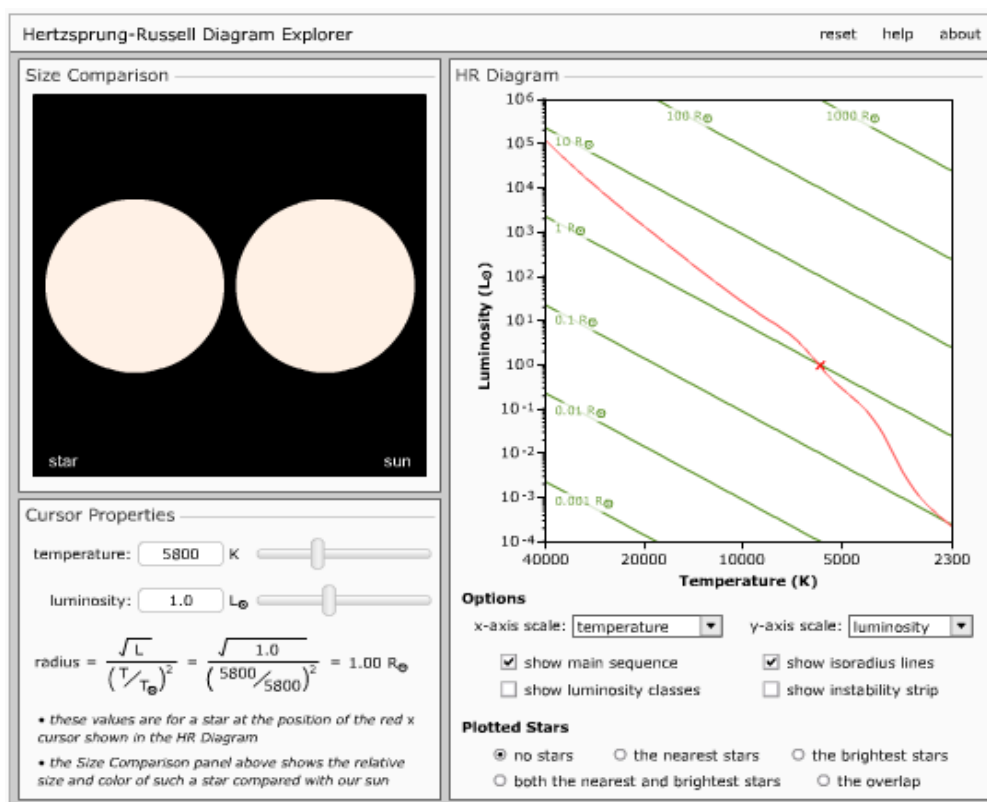
Para finalizar esta aula deve-se utilizar um *applet* chamado de [Explorador do Diagrama Hertzsprung-Russell](#). Nesta simulação encontramos três quadros: o primeiro faz uma comparação entre o tamanho da estrela a partir dos dados inseridos e o Sol; no segundo uma relação entre a temperatura em K e a luminosidade, tendo o Sol como padrão, valores obtidos pelo movimento do cursor e; no terceiro quadro um diagrama HR com as seguintes opções, para o eixo das abcissas temperatura, B-V cor e tipo espectral e, nas ordenadas luminosidade e magnitude. Ainda, em relação as opções podemos inserir ou não no gráfico a sequência principal, classe luminosa, faixa de instabilidade e linhas em relação ao raio da Terra e, na parte de baixo das opções temos as possibilidades de plotagem no gráfico sem estrelas, as estrelas mais próximas, as estrelas mais brilhantes, as estrelas mais brilhantes e mais próximas e a sobreposição em relação ao Sol.

Cabe ressaltar, que ao manipular qualquer ícone de um dos três quadros, os outros demonstram sua variação conforme os padrões pré-determinados. Assim, novamente pode-se propor aos alunos três questões a serem respondidas conforme o *applet*:

- 1) Mantendo a luminosidade constante em $1,8 L_{\odot}$ e variando a temperatura entre 2500K e 25000K, quais:

- a- Valores temos de raio em relação ao Sol das estrelas, para uma variação de 1500K da temperatura a partir dos 2500K?
- b- Valores de magnitude? Justifique.
- c- Os tipos espectrais?
- 2) Mantendo a temperatura constante em 7000K e variando o cursor da luminosidade entre o mínimo e o máximo, determine o raio, magnitude e a cor de três estrelas menores e maiores que o Sol.
- 3) Determine a luminosidade, o tipo espectral, a cor e a magnitude das estrelas abaixo:
- | | | |
|------------|--------|-------------------|
| Rigel | 28000K | 7R _☉ |
| Sirius | 10000K | 2,5R _☉ |
| Procion | 7400K | 1,3R _☉ |
| Aldebarã | 4900K | 0,9R _☉ |
| Betelgeuse | 3000K | 0,4R _☉ |

Figura 10. Hertzsprung-Russell Diagrama Explore



Fonte: Disponível em: <http://astro.unl.edu/naap/hr/animations/hr.html> Acessado em: 15/01/2015.