



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ALESSANDRA RIBEIRO

**ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA
PARA O ESTUDO DOS FENÔMENOS
ELETROMAGNÉTICOS DA INTERAÇÃO TERRA-SOL**

ALESSANDRA RIBEIRO

**ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA
PARA O ESTUDO DOS FENÔMENOS
ELETROMAGNÉTICOS DA INTERAÇÃO TERRA-SOL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissionalizante em Ensino de Física do Departamento de Física, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Américo Tsuneo Fujii.

Londrina
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Ribeiro, Alessandra.

Análise da aplicação de uma sequência didática para o estudo dos fenômenos eletromagnéticos da interação Terra-Sol / Alessandra Ribeiro. - Londrina, 2017.
96 f.

Orientador: Américo Tsuneo Fujii.

Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2017.

Inclui bibliografia.

1. Ensino de Física - Tese. 2. Astronomia - Tese. 3. Aprendizagem significativa - Tese. I. Tsuneo Fujii, Américo. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. Título.

ALESSANDRA RIBEIRO

**ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O
ESTUDO DOS FENÔMENOS ELETROMAGNÉTICOS DA INTERAÇÃO
TERRA-SOL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissionalizante em Ensino de Física do Departamento de Física, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Américo Tsuneo Fujii
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof^a Dr^a Eliana Aparecida Silicz Bueno
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Marcelo Alves de Carvalho
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 18 de outubro de 2017.

Dedico esta dissertação a Deus, por tudo o que ele representa na minha vida.

À minha família e amigos, pelo incentivo e apoio para a realização deste trabalho, tão importante para a minha formação.

AGRADECIMENTOS

A todos os estudantes que participaram desta proposta de ensino.

A toda equipe do Planetário de Londrina pelo incentivo e apoio, principalmente à Amélia e Sheyla, pelos conselhos e companheirismo.

Ao meu orientador professor Dr. Américo Tsuneo Fujii, pela paciência, incentivo e pelas orientações que me deu durante a condução deste trabalho.

Aos colegas de mestrado, pelo apoio nas horas difíceis, pelos momentos de diversão e riso nos intervalos de aula, especialmente pelos momentos de estudo e de troca no qual nos ajudávamos mutuamente nas dificuldades.

À minha amiga Juliana Romanzini, por ser minha eterna incentivadora, por confiar em meu potencial, por ser uma profissional que eu admiro profundamente pela dedicação e paixão pela causa do ensino e, especialmente, por ser um ombro amigo em tantos momentos...

Desde a inscrição para o curso de mestrado até a conclusão desta dissertação, ali estava minha amiga Elaine, me incentivando e não me deixando desanimar e desistir. Sem o seu amparo eu não teria chegado até aqui.

Aos meus pais Adenir e Aida, que me ensinaram a importância do conhecimento e estudo na vida de uma pessoa. Pelo apoio, incentivo e tudo que já fizeram por mim.

Às minhas irmãs Aline e Simone que sempre me incentivaram, apoiaram e ajudaram de todas as formas possíveis.

Ao meu esposo Eduardo Ber que, com muito carinho e apoio, não mediu esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

Ao meu filho Alexsander, que está sempre ao meu lado dando-me suporte, amor, apoio e incentivo nas horas difíceis.

A todos que estiveram ao meu lado e torceram por mim, muito obrigada!

*Navegando pela noite
Com tempestade ou calma
O velejador se orienta
Por uma estrela guia
Sem ver o farol da barra
Se vale da Astronomia*

(Braz Faustino).

RIBEIRO, Alessandra. **Análise da aplicação de uma sequência didática para o estudo dos fenômenos eletromagnéticos da interação Terra-Sol.** 2017. 96 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissionalizante em Ensino de Física) – Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2017.

RESUMO

Este trabalho relata o desenvolvimento e aplicação de uma sequência didática voltada para o ensino de Física utilizando a Astronomia como tema motivador. O referencial teórico utilizado na elaboração da sequência e avaliação dos resultados foram as Teorias de Aprendizagem Significativa de David Ausubel, Multímodos e múltiplas representações. O trabalho teve como tema geral “Análise da aplicação de uma sequência didática para o estudo dos fenômenos eletromagnéticos da interação Terra-Sol”. A sequência didática foi elaborada com base em atividades e materiais potencialmente significativos, como a construção de um espectroscópio, observação do Sol utilizando um telescópio, conversas em sala de aula e apresentação de vídeos. A partir dos dados coletados por meio de testes comparativos e conversas com os alunos, constatou-se uma evolução no resultados dos testes e que introduzir conteúdos relacionados à astronomia nas aulas de Física, a torna muito mais atrativa.

Palavras-chave: Ensino de Física. Aprendizagem significativa. Astronomia.

RIBEIRO, Alessandra. **Analysis of the application of a didactic sequence for the study of the electromagnetic phenomena of the Earth-Sun interaction.** 2017. 96 p. Dissertation (Master's Degree in National professional in Teaching of Physics) – Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2017.

ABSTRACT

This work reports the development and application of a didactic sequence directed to the teaching of Physics using astronomy as a motivational theme. The theoretical reference used to the elaboration of the sequence and evaluation of the results were the Meaningful Learning Theory of David Ausubel Multimode and Multiple Representations. The work had as its general theme "Analysis of the application of a didactic sequence to the study of the electromagnetic phenomena of the Earth-Sun interaction". The didactic sequence was elaborated based on potentially significant activities and materials, such as the construction of a spectroscope, observation of the Sun using a telescope, classroom conversations and video presentation. From the data collected through comparative tests and conversations with the students, an evolution in the results of the tests was verified and that introducing astronomy-related contents in the physics classes, makes it much more attractive.

Keywords: Physics education. Meaningful Learning. Astronomy.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
1.1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	13
1.2 MULTIMODOS E MÚLTIPLAS REPRESENTAÇÕES	15
2 O PRODUTO EDUCACIONAL	18
2.1 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	18
2.2 PRÉ E PÓS-TESTE	18
2.3 VÍDEOS	19
2.4 OBSERVAÇÃO DO SOL COM TELESCÓPIO E FILTRO DE CARBONO 14	19
2.5 AULAS UTILIZANDO PROJETER DE VÍDEO	20
2.6 CONSTRUÇÃO DE UM ESPECTROSCÓPIO	20
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	21
3.1 APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	21
4 APRESENTAÇÃO DOS DADOS E ANÁLISE	24
4.1 APRESENTAÇÃO DOS DADOS	24
4.2 ANÁLISE DOS DADOS	27
CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
REFERÊNCIAS	34
APÊNDICE	39
APÊNDICE A – Produto educacional (sequência didática)	40
ANEXO	95
ANEXO A – Tabela (valores críticos da razão <i>t</i> de Student)	96

INTRODUÇÃO

A grande maioria dos alunos tem dificuldade em aprender Física, devido à matematização da mesma e em relacionar os conteúdos estudados com o seu cotidiano. Como parte de uma meta educacional, pode-se caracterizar a intenção de fazer o aluno ir à escola e voltar para casa sentindo que alguma coisa nova está em processo de compreensão e de incorporação ao que ele já sabe, sentindo-se motivado em transformar o que conseguir aprender em algo importante para a sua vida pessoal. (ANDRADE, 2012)

Através da Astronomia, é possível motivar o aluno a querer aprender, pois a mesma tem o potencial de atrair a curiosidade dos alunos. Um aluno motivado é um aluno com grandes possibilidades de aprender. A fim de contribuir na motivação e aprendizado dos conceitos de Física, este trabalho apresenta conteúdos dessa disciplina através de tópicos de Astronomia.

Ao tocar neste assunto, a maioria dos jovens costuma desencadear uma enxurrada de perguntas sobre buracos negros, origem do universo, vida extraterrestre, tecnologia aeroespacial, etc. este entusiasmo abre a oportunidade para o professor trabalhar, de modo interdisciplinar, as demais matérias escolares. Além do aspecto motivacional, a astronomia assume um papel diferenciador, que a pode distinguir das outras ciências, conferindo-lhe um certo grau “popularizável”, favorecendo a cultura científica, uma vez que o seu laboratório é natural e gratuito, estando o céu à disposição de todos, facilitando a execução de atividades ao ar livre e que não exigem materiais custosos (LANGHI, 2009, p.10)

A Astronomia é uma ciência abrangente e multidisciplinar, segundo (ROMANZINI, 2011):

Ela se inter-relaciona com a Geografia ao se estudar os conceitos de latitude, longitude, pontos cardeais e geologia; com a Química e a Biologia quando se buscam informações sobre a composição química de planetas e demais corpos celestes, bem como sobre a origem e evolução do Universo e também na investigação de exoplanetas e de possibilidade da existência de vida extraterrestre de qualquer espécie; na Matemática, podemos associar a Astronomia no estudo de trigonometria esférica e geometria; aliada à História pode-se desvendar alguns dos episódios que marcaram a evolução da Física e da Astronomia, como a criação do telescópio e seu uso para fins astronômicos e a corrida espacial. Leis e teorias explicadas pela Física são essenciais para a compreensão da disposição dos corpos celestes e seus movimentos, bem como para compreender a dinâmica de objetos descobertos recentemente. (BISHOP, 1979;

OTHMAN, 1991; BARRIO, 2002; SALVI & BATISTA, 2006; MARTINS, 2009, apud, ROMANZINI, 2011)

É importante mostrar aos alunos que a Astronomia é uma ciência em construção e está presente no nosso cotidiano, podemos observar: as fases da Lua; o movimento “aparente do Sol”; as estações do ano; o efeito das marés; e etc.

A astronomia é a ciência do céu e o céu é tudo que existe, é o espaço incomensurável que envolve tudo, é o conjunto de estrelas cada uma delas um Sol; é o sistema planetário, é Júpiter, Saturno, Marte, Vênus, é enfim nosso planeta, a Terra, que, como os demais, gravita no espaço. Parte da criação, parte ínfima, mas de extrema importância para o homem, é a Terra integrante do conjunto de aspectos abarcados pela Astronomia. Ocupando-nos do céu, ocupamo-nos com a realidade absoluta da própria Terra, com suas estações, seus climas; conhecemos as origens do calendário, o porquê da noite e do dia, dos meses e dos anos, do presente e do passado assim como do futuro do nosso planeta e por extensão da própria humanidade. Ciência do tempo e do espaço, a astronomia abarca tanto as origens como os extremos limites do futuro. É a ciência do infinito e da eternidade. A astronomia tem por finalidade fazer-nos conhecer o universo onde nos encontramos e do qual fazemos parte. (NICOLINI, 1991, p. 96 apud CAMPOS E NIGRO, 1999)

O professor pode ser um grande mediador nessa motivação do ensino de Física, relacionando os conteúdos com a realidade dos alunos. Segundo (SCHIMITT, 2005):

O papel do professor em sala de aula vai muito além de apenas transferir conhecimentos, passa pelo papel de orientador emocional e de valores e, principalmente o de motivador para a vida em sociedade, com quem o aluno deverá adquirir a consciência de que o seu sucesso profissional gerará resultados para o seu meio social. E para isso acontecer os processos educacionais deverão ser processos que se aproximem da realidade desse aluno e não se tornem um mundo paralelo, que tenha como único papel fadigá-lo para o aprender a não-aprender.

Atualmente, o amparo legal para a elaboração dos currículos escolares baseia-se nos Parâmetros Curriculares Nacionais, PCNs (Brasil, 1999), que priorizam estratégias para capacitar o aluno a se socializar, a ser produtivo e a abstrair sob a óptica das seguintes premissas: aprender a conhecer, a fazer, a viver e a ser. Permitir ao aluno ver o mundo na sua complexidade, favorecendo o gosto de compreender o que o cerca. Fundamentar a mente do educando com conhecimento

de base que tornem possível a continuidade do aprendizado, possibilitando que ele enfrente situações novas e conflitantes na busca de soluções. (UHR, 2007)

As orientações educacionais contidas nos Parâmetros Curriculares Nacionais, PCNs+ (Brasil, 2002), incluíram o tema estruturador “Universo, Terra e Vida” como sugestão para a área de Física, o qual faz parte do produto educacional apresentado no anexo desta dissertação. O produto educacional está no formato de uma sequência didática com o título “Análise da aplicação de uma sequência didática para o estudo dos fenômenos eletromagnéticos da interação Terra-Sol”, o mesmo foi desenvolvido utilizando-se da Teoria de Aprendizagem de David Ausubel e da Teoria de Multimodos e Múltiplas representações.

A Aprendizagem Significativa de David Ausubel leva em conta o processo através do qual uma nova informação interage com as informações já existentes na estrutura de conhecimento do aluno, ou seja, com a sua estrutura cognitiva específica e individual, previamente adquirida, conhecida como “subsunçores”, facilitando a aprendizagem subsequente (MOREIRA e MASINI, 1982). Os conceitos prévios que os alunos trazem em sua estrutura cognitiva, nem sempre são concordantes com os conceitos científicos. Para que o aluno possa apropriar-se dos conhecimentos científicos é necessário que o material seja potencialmente significativo. Assim, a utilização de múltiplas representações pode favorecer essa aproximação ao conhecimento científico. (ZOMPERO e LABURÚ, 2010, p.34)

O Sol é muito importante para a vida na Terra, mas poucos sabem da influência do Sol sobre o nosso planeta. Por se tratar de um conteúdo presente na Física como na Astronomia, o estudo desse tema será de grande motivação para os alunos.

A pesquisa de trabalhos já publicados sobre o tema proposto mostrou que há poucos trabalhos relacionados ao assunto. Assim, a escolha desse conteúdo pode ser de grande ajuda para o ensino de Astronomia no ramo da Física.

No produto educacional, organizado no formato de uma sequência didática, são apresentados: textos, atividades práticas, indicação de vídeos para exibição e observação do Sol utilizando um telescópio. Com essas ferramentas o professor desenvolve os conteúdos de forma a facilitar o processo de ensino-aprendizagem.

As aulas desenvolvidas nesta sequência didática têm por objetivo, levar os alunos ao questionamento e compreensão dos fenômenos da interação Terra-Sol no dia-a-dia. Essa relação entre o conteúdo visto em sala de aula com a realidade do aluno torna o ensino de Física muito mais atrativo.

Com base no panorama descrito até aqui e, ainda, com a convicção que a sequência didática proposta é potencialmente significativa para o ensino de Física, através do uso da Astronomia, definimos assim o objetivo desta dissertação:

- Analisar a aplicação da sequência didática para o estudo dos fenômenos eletromagnéticos da interação Terra-Sol.

Para alcançar o objetivo proposto, a dissertação foi organizada em alguns capítulos. Inicialmente é feita uma breve introdução, contextualizando o panorama da pesquisa e delimitando o objetivo da mesma. O capítulo um apresenta a fundamentação teórica para a construção de uma sequência didática. No capítulo dois temos um resumo das atividades desenvolvidas no produto educacional. O capítulo três apresenta o passo a passo da aplicação da sequência didática e no capítulo quatro temos a apresentação dos dados e análises dos mesmos. No apêndice, temos a sequência didática que foi o produto educacional desta dissertação, para que professores interessados possam utilizá-la como ferramenta em suas aulas.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Teoria da Aprendizagem Significativa de David Paul Ausubel e a Teoria de Multimodos e múltiplas representações foram as teorias utilizadas para propor essa sequência didática que foi aplicada para uma turma de alunos do 3º ano do ensino médio.

1.1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Segundo Ausubel a aprendizagem significativa é o processo no qual uma nova informação é relacionada de maneira não arbitrária e substantiva (não literal) à estrutura cognitiva do aprendiz, assim o estudante relaciona um conteúdo preexistente em sua estrutura mental atribuindo um significado à nova informação (MOREIRA, 2011, p. 26).

Conforme Ausubel, *“A aprendizagem significativa é o mecanismo humano, por excelência, para adquirir e armazenar a vasta quantidade de ideias e informações representadas em qualquer campo de conhecimento”* (apud MOREIRA, 1997, p.1). Para isso é necessário que o aluno já possua uma informação preexistente.

Pensada para aprendizagem em sala de aula, Ausubel ressalta a importância do papel do docente que é o facilitador do processo de construção do conhecimento. No entanto, a responsabilidade pela aquisição de conhecimentos não depende apenas do professor, depende também do aluno, é ele quem decide se quer aprender significativamente ou não. Para haver aprendizagem significativa são necessárias duas condições: o aluno precisa querer aprender e o conteúdo a ser aprendido tem que ser lógico e psicologicamente significativo. Quando novas informações não se relacionam com conceitos preexistentes, essas informações podem ser assimiladas, só que de forma mecânica, neste caso em contrapartida com a aprendizagem significativa temos a aprendizagem mecânica. Contudo, para Ausubel, essas duas formas de aprendizagem se completam na medida em que a aprendizagem mecânica pode levar a aprendizagem significativa.

Ao atingir a idade escolar, a maioria das crianças já possui uma grande quantidade de subsunçores em sua estrutura cognitiva, no entanto, para determinados conteúdos, pode ocorrer a ausência de subsunçores e, nesse caso, a

aprendizagem mecânica é necessária até que elementos de conhecimento em um determinado assunto existam na estrutura cognitiva e possam servir de subsunçores (MOREIRA e OSTERMANN, 1999). Assim, com o passar do tempo, a aprendizagem torna-se significativa, esses subsunçores ficam mais complexos e são capazes de servir de “âncora” para novos conhecimentos (DARROZ, 2010, p.28).

Toda vez que ocorre aprendizagem significativa, conceitos mais maduros passam a fazer parte da estrutura cognitiva do indivíduo; esses conceitos, então, passam a ser subsunçores de outros conceitos com os quais vão interagir para, de novo, ocorrer uma fusão de conceitos. Assim, o conhecimento vai sendo construído passo a passo, através da interação dos conhecimentos prévios do indivíduo com aqueles que são constantemente encontrados pelo caminho. A aprendizagem ocorre significativamente quando o indivíduo percebe que o novo conhecimento adquirido torna-se uma boa ferramenta para aprender novos conceitos e que consegue, com eles, criar e fazer previsões (ANDRADE, 2012 p. 23). Segundo Moreira (2010, p.6):

Através de sucessivas interações um dado subsunçor vai, progressivamente, adquirindo novos significados, vai ficando mais rico, mais refinado, mais diferenciado, e mais capaz de servir de ancoradouro para novas aprendizagens significativas. É isso que se estende por diferenciação progressiva de um conceito, de uma proposição, de uma idéia, ou seja, de um subsunçor.

Segundo Mees, (2004, p.35):

Dentre algumas implicações da teoria de Ausubel para o ensino, podemos destacar o papel importante, por ele atribuído ao conhecimento prévio, cabendo ao professor:

- organizar o conteúdo a ser ensinado, partido do todo, para chegar nos conteúdos específicos.
- identificar quais os subsunçores (conhecimento prévio), que o aluno deve ter para que possa aprender o conteúdo significativamente.
- verificar o que o aluno sabe sobre o conteúdo a ser ensinado e, caso falem subsunçores aos alunos, de uma forma ou outra, levar o aluno a adquirir estes subsunçores.

Uma conversa sobre os conceitos que seriam vistos na sequência didática e a apresentação do vídeo “Segredos do Sol” da série “O universo” antes da aplicação do material, trouxe à sequência didática uma forma de potencializar os

subsunçores dos estudantes, pois o conteúdo a ser ensinado não é totalmente desconhecido, pelo fato do aluno já possuir algum contato com o conteúdo.

Por mais atraente que seja uma aula, se o aluno não quiser aprender, não aprenderá, os alunos precisam estar predispostos para que aconteça uma aprendizagem significativa e segundo Lemos, (2001, p.29):

Neste processo, professor e aluno têm responsabilidades distintas. O primeiro deve: a) diagnosticar o que o aluno já sabe sobre o tema; b) selecionar, organizar e elaborar o material educativo; c) verificar se os significados compartilhados correspondem aos aceitos no contexto da disciplina e d) rerepresentar os significados de uma nova maneira, caso o aluno não tenha ainda captado aqueles desejados. O aluno, por sua vez, tem a responsabilidade de: a) captar e negociar os novos significados e b) aprender significativamente.

Ausubel (2003, p. 72) destaca que *“a aprendizagem significativa exige que os aprendizes manifestem um mecanismo de aprendizagem significativa [...] e que o material seja potencialmente significativo para os mesmos”*. A fim de validar essas informações, Moreira (2011) afirma que a primeira condição refere-se ao desejo do aluno em aprender e que essa intencionalidade não se trata, necessariamente, de motivação, mas sim de qualquer atitude favorável à aprendizagem. Quanto ao material, esse deve conter significado lógico, ou seja, necessita relacionar-se de maneira não arbitrária e não literal a uma estrutura cognitiva apropriada e relevante. Assim, a interação entre a estrutura cognitiva do indivíduo e o conhecimento a ser aprendido é mediada pelo material de aprendizagem. Essas duas condições devem acontecer conjuntamente, pois a ausência de qualquer uma delas pode prejudicar o processo. Logo, se por um lado o aluno possuir material potencialmente significativo, mas não quiser aprender, possivelmente não haverá uma conexão entre o novo conhecimento e sua estrutura cognitiva. Por outro lado, o aluno pode querer dar novos significados aos novos conhecimentos, mas não possuir conhecimentos prévios e/ou material didático potencialmente significativo. (NARDY e LABURU, 2014, p.30).

A Teoria de Ausubel oferece, portanto, diretrizes, princípios e estratégias que podem facilitar a aprendizagem significativa em sala de aula.

1.2 MULTIMODOS E MÚLTIPLAS REPRESENTAÇÕES

Os alunos trazem conceitos prévios em sua estrutura cognitiva, mas nem sempre são concordantes com os conceitos científicos. O significado construído pelo aluno pode não ser o mesmo que o professor ensinou, logo, a conexão entre a nova informação e os conceitos subsunçores não são sinônimos de aprendizagem “correta”. Para que o aluno possa apropriar-se dos conhecimentos científicos é necessário que o material seja potencialmente significativo. Assim, a utilização de múltiplas representações pode favorecer essa aproximação ao conhecimento científico. (ZOMPERO e LABURÚ, 2010, p.34)

Laburú (2011) destaca que as ciências e a matemática não são formadas somente por conceitos altamente abstratos, mas sim por toda uma estrutura de comunicação e representação, e que os conceitos são muitas vezes melhores absorvidos pelos alunos quando é fornecida a possibilidade de relacionar os conceitos abstratos transmitidos, através de diferentes formas representativas, quando esse processo ocorre, um desenvolvimento conceitual mais efetivo é visualizado, ligado a subjetividade do aprender de cada aluno.

Segundo Zompero e Laburú, (2010, p.34):

De acordo com Ausubel et al (1980) há alguns tipos de aprendizagem significativa. Entre elas estão a representacional e a de conceitos. A aprendizagem representacional envolve a atribuição de significados aos símbolos, objetos, eventos, conceitos. Estes últimos, em particular, são representados por símbolos. Quanto à aprendizagem de conceitos, Moreira (1997) afirma que este tipo de aprendizagem é também representacional semiótica. As representações semióticas são relativas a um sistema particular de signos, como a linguagem, escrita ou gráfica, entre outros.

De acordo com Prain e Waldrip (apud ZOMPERO; LABURÚ, 2010), as múltiplas representações referem-se à prática de representar o mesmo conceito de diferentes maneiras, incluindo verbal, gráfica, numérica, dentre outras. Os multimodos referem-se à integração no discurso científico desses diferentes modos de representação.

Para haver uma compreensão dos conceitos científicos é necessário a integração entre diferentes modos de representação. À medida que o professor integra a fala, a escrita e outros modos representacionais ocorre uma promoção da significação. (LEMKE, 2003)

Segundo Lemke (2003), a linguagem é o sistema que mais abrange recursos semióticos. As palavras tendem a representar objetos e eventos, havendo uma integração de imagens concretas. Não há significação completa em si, mas ela se mantém dependente de diferentes fontes de informação em um contexto de experiências e significados. Todo aquele que realiza uma interpretação encontra um caminho diferente para o significado.

Segundo Laburú (2011 apud OLIVEIRA, 2016, p.19):

A utilização de múltiplas representações poderá favorecer uma aproximação ao conhecimento científico. A possibilidade de trabalhar diversos modos com os alunos, encaminhando-os para que traduzam os significados das diversas representações entre si, favorece a construção de novos entendimentos e permite maior aprofundamento cognitivo, fugindo de uma instrução estereotipada, mecânica e pouco significativa.

Segundo Laburú; Barros e Silva (2011 apud ALVES, 2016, p.21):

Os defensores da proposta pedagógica multimodal, entendem que toda palavra, toda figura, diagrama, equação e simbolismo envolvido nas ações, gestos, procedimentos, entre outros, pertencem a um contexto, e é parte de uma troca de significados entre diferentes membros de uma comunidade, no caso da sala de aula, essa troca se dá entre professor e alunos.

Portanto, buscou-se o desenvolvimento e aplicação de atividades com materiais potencialmente significativos que abordassem diversas formas e representações.

2 O PRODUTO EDUCACIONAL

2.1 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

A aplicação do produto educacional teve como início uma conversa com os alunos sobre os conteúdos que seriam trabalhados durante as aulas propostas na sequência didática e a importância de estudar o tema “Astronomia”, uma vez que esse tema é usado em questões nas provas do ENEM e vestibulares.

As atividades desenvolvidas foram: aulas expositivas, exibição de vídeos, construção de um espectroscópio, observação do Sol utilizando um telescópio e foram realizados testes comparativos, onde foi analisado se houve aprendizagem.

2.2 PRÉ E PÓS-TESTE

O objetivo do pré-teste é ter informações iniciais sobre o nível de conhecimento dos alunos sobre o conteúdo para, ao final do processo, verificar a aprendizagem dos mesmos com a análise do pós-teste.

A aplicação do pré-teste ocorreu na aula seguinte à da apresentação da sequência didática e exibição do documentário “Segredos do Sol”. Foi informado aos alunos que esse mesmo teste seria aplicado ao final da sequência didática, assim seria possível obter um parâmetro para verificar se a sequência de atividades proposta teria um resultado positivo com relação à aprendizagem. O pós-teste foi aplicado na última aula da sequência didática. Foi ressaltado que os questionários não valeriam nota, mas que era de grande importância para avaliar os resultados do trabalho. O questionário constitui de 10 questões de múltipla escolha e encontra-se na sequência didática no apêndice A.

Conforme a teoria ausubeliana, para que se tenha uma aprendizagem significativa, o significado recentemente adquirido deve tornar-se uma parte integral de um sistema ideacional particular (AUSUBEL et al., 1980, p. 121). Segundo Ausubel (2003, p. 134):

Durante o intervalo de retenção, os significados recentemente emergentes permanecem funcionalmente ligados às ideias ancoradas, mas são ainda dissociáveis das mesmas; ao passo que, numa fase posterior do intervalo de retenção, a força de dissociabilidade dos significados recentemente apreendidos desce abaixo dos limiares críticos da recordação e do reconhecimento. Quando isto acontece, estes significados deixam de estar disponíveis para o aprendiz, como entidades identificáveis em separado; devido à subsunção obliterante, ocorreu o esquecimento. As mesmas variáveis que influenciam, em primeiro lugar, a aprendizagem significativa continuam, assim, a influenciar, posteriormente, a retenção e o esquecimento da mesma forma, já para não falar de outras variáveis, tais como a motivação, a repressão e a hipnose, que influenciam a retenção afetando o limiar de disponibilidade (sem influenciarem, de alguma forma, a força de dissociabilidade de ideias retidas na estrutura cognitiva).

2.3 VÍDEOS

O uso de vídeos em sala de aula é um importante recurso e de fácil utilização pelos professores. Experimentos no qual o professor não consegue reproduzir em sala de aula podem ser apresentados na forma de vídeos. Na aprendizagem de novos conceitos, o uso de vídeos podem também servir de material instrucional bastante útil como conhecimento prévio além de servir como instrumento de apoio à exposição do professor.

Os vídeos indicados na sequência didática têm como objetivo despertar a curiosidade do estudante através da demonstração de fenômenos que não poderiam ser visto em sala de aula. Para exibição dos vídeos foi utilizado um projetor de vídeos, notebook e caixa amplificadora de som. Os vídeos foram baixados dos sites Youtube e Vimeo, os links encontram-se no produto educacional.

2.4 OBSERVAÇÃO DO SOL COM TELESCÓPIO E FILTRO DE CARBONO 14

Como a escola estava em reforma, as aulas eram ministradas em salas cedidas por uma igreja católica que ficava a duas quadras da escola. A observação do Sol foi realizada na calçada próxima do prédio onde as aulas eram ministradas. Para observação do Sol foi utilizado um telescópio portátil da marca Meade Etx 125 cedido pelo Planetário de Londrina e filtros que são usados em máscara de soldador. Inicialmente foi informado o perigo da observação do Sol sem

proteção. Foi necessária uma explicação de como deveriam fazer para observar no telescópio e com o filtro de carbono 14. Essa atividade foi de grande importância, pois o aluno poderia verificar experimentalmente, a observação do Sol utilizando filtros diferentes, como também a observação das manchas solares.

2.5 AULAS UTILIZANDO PROJETO DE VÍDEOS

O objetivo destas aulas foi de transformar uma aula tradicional, verbalista e autoritária, em uma aula dinâmica, participativa e estimuladora. Na proposta os alunos foram incentivados a participar da aula através de questionamentos, assim dinamizando as atividades em sala de aula.

Como referência para estas aulas foram utilizados os textos do livro “Nossa Estrela o Sol”, que estão apresentados em forma de apostila no produto educacional.

No decorrer das aulas os alunos faziam perguntas com dúvidas que surgiam sobre o conteúdo, assim, acontecia uma conversa com relação ao conteúdo que estava sendo estudado, essa foi uma maneira de fazer com que os alunos interagissem efetivamente nas aulas, cabendo ao professor procurar motivar a curiosidade dos alunos no decorrer das aulas e atividades.

2.6 CONSTRUÇÃO DE UM ESPECTROSCÓPIO

O objetivo desta atividade foi de construir um espectroscópio de baixo custo para observação do espectro eletromagnético de variadas fontes de luz. Para isso foi utilizado o modelo encontrado no artigo: “Observando espectros luminosos – espectroscópio portátil” de Francisco Catelli e Simone Pezzini¹, publicado no Caderno Brasileiro de Ensino de Física. Depois de observar algumas fontes em sala de aula, foi solicitado aos alunos que observassem fora do ambiente escolar outras fontes de luz e que registrassem em uma tabela.

¹ CATELLI, F.; PEZZINI, S.. Observando espectros luminosos – espectroscópio portátil. Cad. Bras. Ens. Fis., v. 21, n. 02, p.339-344, ago, 2004. Disponível em: < <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/10023/14560>> .

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo encontram-se as atividades desenvolvidas no segundo semestre de 2016, entre os meses de setembro e outubro em uma turma do 3º ano do ensino num colégio público do norte do Paraná. Foi disponibilizada aos alunos uma apostila na qual eles acompanhavam as aulas e atividades que buscavam o desenvolvimento cognitivo dos mesmos.

3.1 APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

As atividades desenvolvidas foram: pré-teste e pós-teste para verificar o conhecimento do aluno; aulas expositivas em Power point, foram 10 aulas de 50 minutos cada; apresentação de vídeos; observação do Sol e confecção de um espectroscópio no qual eles usaram para observar o espectro de algumas fontes de luz.

Os vídeos serviram para estimular a curiosidade dos alunos com relação às atividades que seriam desenvolvidas durante a sequência e melhor visualização de alguns fenômenos. Durante a apresentação dos vídeos, em alguns momentos eles eram pausados e o professor fazia um breve comentário, incentivando para que os alunos também se manifestassem.

As atividades desenvolvidas procuraram mostrar aos alunos que a nossa estrela, o Sol, influencia diretamente o dia-a-dia em nosso planeta.

Essas atividades estão de acordo com os PCN+ do Ensino Médio, onde encontramos sugestões de temas estruturadores para o ensino de Física, o “Tema 6: Universo, Terra e vida” (BRASIL, 2002, p.71).

Pré e pós-teste: foram elaboradas questões objetivas sobre os conteúdos que seriam estudados. Este teste inicial teve como objetivo coletar informações sobre o conhecimento prévio dos alunos. Esse mesmo teste foi aplicado novamente no final das atividades desse trabalho.

Aula 01: (apresentação da proposta e exibição do documentário: Segredos do Sol). Nesta aula foi apresentado o conteúdo que seria estudado e as atividades que seriam desenvolvidas. Logo após foi exibido o documentário da série O Universo: Segredos do Sol, no qual apresenta uma prévia dos principais

conteúdos da proposta de trabalho, fornecendo assim subsunçores que serviriam de ancoras para o aprendizado dos conteúdos que seriam vistos. Conforme Moreira, a apresentação de vídeos podem ser considerados “organizadores prévios”, pois:

São materiais introdutórios apresentados antes do material de aprendizagem em si. Contrariamente a sumários que são, de um modo geral, apresentados ao mesmo nível de abstração, generalidade e abrangência, simplesmente destacando certos aspectos do assunto, organizadores são apresentados em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade. (MOREIRA, 2008).

E ainda,

Os organizadores prévios podem tanto fornecer ideias âncoras relevantes para a aprendizagem significativa do novo material, quanto estabelecer relações entre ideias, proposições e conceitos já existentes na estrutura cognitiva e aqueles contidos no material de aprendizagem. (MOREIRA, 2008).

Aula 02: (aplicação do pré-teste). Como na aula anterior os alunos tiveram o primeiro contato com os conteúdos que seriam estudados, nesta segunda aula foi aplicado o pré-teste que serviu de base para termos uma ideia do conhecimento prévio desses estudantes.

Aula 03: (espectro eletromagnético). Nesta aula foi estudado sobre a natureza da luz e suas características. Foi representado o espectro eletromagnético e enfatizado que o que enxergamos é uma pequena faixa do espectro (a faixa do visível) e que o Sol emite radiação ao longo de todo o espectro eletromagnético. Através da análise da radiação eletromagnética de diversas fontes diferentes, é possível definir propriedades físicas e químicas destes corpos.

Aula 04: (exibição do documentário: Escondido na Luz da série Cosmos). Este episódio da série Cosmos explora as propriedades da luz, o método científico e a composição do Universo. Nele é visto também a importância da espectroscopia, que sem a espectroscopia, praticamente não seria possível obter conhecimento astrofísico.

Aula 05: (construção de um espectroscópio simples). Com materiais de baixo custo, nesta aula foi confeccionado um espectroscópio, instrumento utilizado para analisar o espectro de diversas fontes luminosas. Cada aluno construiu seu espectroscópio e pode observar o espectro de algumas fontes como: lâmpada incandescente, lâmpada fluorescente, lâmpada de luz negra, chama de vela e lâmpada de led.

Aula 06: (estrutura solar). O Sol é basicamente dividido em duas regiões: o interior e a atmosfera, nesta aula foram estudados as camadas que formam o Sol, que vai do núcleo no seu interior até a coroa solar em sua atmosfera.

Aula 07: (magnetismo solar e o meio interplanetário). Nesta aula foi estudado como o campo magnético do Sol é produzido em seu interior e como se formam as manchas solares. Também que o Sol emite constantemente um fluxo de partículas carregadas, o chamado vento solar.

Aula 08 e 09: (relações Terra-Sol). Nesta aula, foi estudado como o Sol e sua atividade influencia o ambiente na Terra. Como uma tempestade magnética pode afetar satélites e astronautas que estiverem em órbita da Terra e como se formam as auroras boreais e austrais.

Aula 10: (aplicação do pós-teste e observação do Sol). Nesta última aula foi aplicado o pós-teste, o mesmo que foi aplicado na segunda aula, assim foi possível obter dados para analisar se houve uma aprendizagem. Logo após os alunos foram levados para fazer observação do Sol através de um telescópio e filtro de carbono 14.

4 APRESENTAÇÃO DOS DADOS E ANÁLISES

Neste capítulo estão os resultados dos pré e pós-testes aplicados.

4.1 APRESENTAÇÃO DOS DADOS

A comparação entre os resultados do pré-teste e pós-teste, foi o principal meio que foi utilizado para identificar se houve uma aprendizagem. O procedimento a seguir teve como objetivo verificar se as diferenças entre os valores totais obtidos pela turma no pré-teste e no pós-teste foram significativos. O número total de alunos que fizeram ambos os testes (pré e pós) foram de 34 alunos. Na tabela 1, é possível verificar em quais questões os alunos tiveram mais dificuldade e o total de acertos para cada aluno no pré-teste. Para questão correta utilizou-se a letra (C) e para questão errado a letra (E).

Tabela 1 – relação dos acertos e erros para cada aluno no pré-teste

Aluno	QUESTÕES										total de acertos
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	
01	C	C	C	C	C	C	C	C	E	E	8
02	C	C	E	C	C	C	C	C	E	E	7
03	C	C	C	C	C	C	C	C	E	E	8
04	E	C	C	C	C	C	C	C	E	E	7
05	C	C	E	C	C	C	C	C	E	E	7
06	C	C	C	C	C	C	C	C	E	E	8
07	E	C	C	C	E	C	C	C	E	C	7
08	E	C	E	C	C	C	C	C	E	C	7
09	C	C	C	C	C	C	C	C	E	C	9
10	C	C	C	C	C	C	C	C	E	C	9
11	E	C	E	C	E	C	C	C	E	E	5
12	C	C	E	C	C	C	C	C	E	E	7
13	C	C	C	C	C	C	C	C	E	E	8
14	C	C	C	C	C	C	C	C	E	E	8
15	C	C	E	E	C	C	C	C	E	C	7
16	C	C	E	C	C	C	C	C	E	E	7
17	E	C	C	C	C	C	C	C	E	E	7
18	C	C	E	C	C	C	C	C	E	E	7
19	E	E	C	C	C	C	C	E	E	C	6
20	C	C	E	C	E	C	C	C	E	C	7
21	C	C	C	C	C	C	C	E	E	C	8
22	C	C	C	C	C	C	C	E	E	C	8

23	C	C	C	C	C	C	C	E	E	C	8
24	C	C	E	C	E	C	C	C	E	C	7
25	C	C	E	C	E	C	C	C	E	C	7
26	E	C	E	C	E	C	C	E	E	E	4
27	C	C	C	C	E	C	C	C	E	C	8
28	C	C	E	C	E	C	C	C	E	C	7
29	C	C	E	C	E	C	C	C	E	C	7
30	C	C	C	C	C	C	C	E	E	C	8
31	E	E	C	C	C	C	C	C	E	C	7
32	E	E	C	E	C	E	E	E	E	E	2
33	C	C	E	C	E	E	E	E	E	E	3
34	C	C	C	C	C	C	C	E	E	C	8

Fonte: próprio autor

No pré-teste nenhum aluno acertou a questão 09, para ser considerada correta, era necessário que o aluno marcasse todas as alternativas como sendo corretas. Neste caso, para um professor que deseja aplicar esse mesmo teste, seria melhor fazer a reformulação da questão, acrescentando mais uma alternativa, conforme o exemplo abaixo:

9) As relações solares-terrestres dizem respeito à influência do Sol e sua atividade no ambiente da Terra. A causa dominante desta influência é a injeção de partículas e radiação proveniente da atividade solar no espaço próximo à Terra. Quais as principais consequências para o ambiente terrestre e para os equipamentos eletrônicos dos quais nossa sociedade é cada vez mais dependente? Assinale a alternativa correta.

- a) Aumento da temperatura da ionosfera.
- b) Telefonia móvel e transmissão de tv por satélite são afetadas ou imobilizadas temporariamente.
- c) Os satélites (comunicação, meteorológicos, navegação, exploração de recursos, salvamento, pesquisa, militares, etc.) são as grandes vítimas pois estão expostos o tempo todo e podem ter circuitos eletrônicos danificados e, por consequência, causar transtornos imensos à humanidade.
- d) Induções sobre linhas de transmissão podem causar danos imensos à rede elétrica e aos os usuários, podendo levar até mesmo a um “apagão”.
- e) Todas as alternativas estão corretas.

Assim, a alternativa correta seria a alternativa (e).

Na tabela 2, estão os erros e acertos para cada questão e o total de acertos para cada aluno no pós-teste.

Tabela 2 – relação dos acertos e erros para cada aluno no pós-teste.

Aluno	QUESTÕES										total de acertos
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	
01	C	C	C	C	C	C	C	C	E	C	9
02	C	C	E	C	C	C	C	C	E	C	8
03	C	C	C	E	C	C	C	C	E	C	8
04	C	C	C	C	C	C	C	C	E	E	8
05	C	C	C	C	C	C	C	C	E	C	9
06	E	C	E	C	C	C	C	C	E	C	7
07	E	C	E	C	E	E	E	E	E	C	3
08	C	C	E	C	C	C	C	E	E	C	7
09	C	C	C	E	C	C	C	C	E	C	8
10	C	C	C	C	C	C	C	C	E	E	8
11	C	C	C	C	C	C	C	C	E	E	8
12	C	C	C	C	C	C	C	C	E	C	9
13	C	C	C	C	C	E	C	C	E	E	7
14	C	C	C	C	C	C	C	C	E	E	8
15	C	C	E	C	C	C	C	C	E	C	8
16	C	C	E	C	C	C	C	C	E	C	8
17	C	C	C	E	C	C	C	C	E	C	8
18	C	C	E	C	C	C	C	C	C	E	8
19	C	C	C	C	C	E	C	C	C	C	9
20	C	C	E	C	E	C	C	E	C	E	6
21	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	10
22	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	10
23	C	E	E	C	C	C	C	E	C	E	6
24	C	C	E	C	E	C	C	C	E	C	7
25	C	C	E	C	E	C	C	E	C	E	6
26	C	C	E	C	E	C	C	E	C	E	6
27	C	C	E	C	C	C	C	C	C	C	9
28	C	C	E	C	E	C	C	C	C	E	7
29	C	C	E	C	E	C	C	E	C	E	6
30	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	10
31	C	C	C	C	C	C	C	C	E	C	9
32	C	C	C	C	C	C	E	C	C	C	9
33	C	C	C	C	E	E	C	C	C	E	7
34	C	C	E	C	C	C	C	E	C	E	7

Fonte: próprio autor

4.2 ANÁLISE DOS DADOS

Para análise dos dados foi feito um resumo do número alunos com o número de acertos em cada teste.

Na tabela 3 foi relacionado o número de alunos conforme o número de acertos (**X**) no pré-teste.

Tabela 3 – demonstrativo do número de alunos pela quantidade de acertos no pré-teste.

Número de alunos	Número de acertos (X)
2	3
1	4
1	5
1	6
15	7
12	8
2	9

Fonte: próprio autor

No gráfico 1 foi relacionado o número de alunos em função do número de acertos no pré-teste.

Gráfico 1 – número de alunos em função do número de acertos no pré-teste.



Fonte: próprio autor

Na tabela 4 foi relacionado o número de alunos conforme o número de acertos (Y) no pós-teste.

Tabela 4 – demonstrativo do número de alunos pela quantidade de acertos no pós-teste.

Número de alunos	Número de acertos (Y)
5	6
6	7
12	8
7	9
4	10

Fonte: próprio autor

No gráfico 2 foi relacionado o número de alunos em função do número de acertos no pós-teste.

Gráfico 2 – número de alunos em função do número de acertos no pós-teste.



Fonte: próprio autor

Para análise dos resultados foram utilizadas as seguintes equações:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

onde \bar{X} é a média do número de acertos por aluno, $\sum_{i=1}^n x_i$ é o somatório do número de acertos dos alunos e n o número total de alunos.

Para o cálculo do desvio padrão da média ($S_{\bar{M}}$) foi utilizado a expressão: $S_{\bar{X}} = \frac{S_X}{\sqrt{n-1}}$ onde S_X é o desvio padrão do número de acertos por aluno, assim temos:

$$S_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n}}$$

Analisando os resultados da tabela 3 e 4, verificou-se que para os 34 alunos, a média de acertos no pré-teste foi de $7,05 \pm 0,27$ e no pós-teste foi de $7,97 \pm 0,24$. A evolução percentual no número de acertos foi de 70,5 % no pré-teste e de 79,5% no pós-teste.

Para verificar se houve diferença significativa entre as médias do pré e do pós-teste, foi utilizado o procedimento a seguir no qual verificou se a média da variável G foi diferente de zero. Para isso utilizou-se o teste estatístico: *teste t de Student*.

O teste *t de Student* foi realizado seguindo Silveira² (2006) que define o parâmetro t como a razão entre o ganho médio \bar{G} entre os dois testes e o erro padrão desse ganho, $S_{\bar{G}}$:

$$t = \frac{\bar{G}}{S_{\bar{G}}}$$

O ganho médio é a média aritmética da soma das diferenças entre os valores no pré e pós-teste, e o erro padrão é definido como:

$$S_{\bar{G}} = \sqrt{\frac{\frac{SG2}{n} + \bar{G}^2}{n-1}}$$

onde SG2 é a soma dos quadrados do ganho de cada aluno, $(\bar{G})^2$ é o quadrado do ganho médio, e n o número de alunos.

² SILVEIRA, F. L.. **Determinando a significância estatística para as diferenças entre médias.** Disponível em: < https://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Comparacoes_em_media.pdf >.

Após efetuado o cálculo, o valor encontrado para t é analisado com o auxílio da tabela que encontra-se no anexo A para determinar o nível de significância estatística do ganho médio.

A partir de X (número de acertos no pré-teste) e Y (número de acertos no pós-teste) calcula-se uma nova variável G (Ganho) pela diferença entre Y e X . A última linha da Tabela 5 apresenta o somatório das respectivas colunas (SG1 – somatório dos ganhos; SG2 – somatório dos ganhos ao quadrado).

Tabela 5 – Demonstrativo dos dados da turma, identificando cada aluno (Aluno), número de acertos no pré-teste (X), número de acertos no pós-teste (Y), a diferença entre o número de acertos no pré e pós-teste [Ganho = ($G = Y - X$)], ganho ao quadrado (G^2), a somatório do ganho (SG1) e o quadrado da somatória do ganho (SG2).

Aluno	X	Y	$G = Y - X$	G^2
1	8	9	1	1
2	7	8	1	1
3	8	10	2	4
4	8	8	0	0
5	7	8	1	1
6	7	9	2	4
7	8	7	-1	1
8	7	7	0	0
9	9	8	-1	1
10	9	8	-1	1
11	5	8	3	9
12	7	9	2	4
13	8	8	0	0
14	8	8	0	0
15	7	8	1	1
16	7	8	1	1
17	7	8	1	1
18	7	8	1	1
19	6	9	3	9

20	7	6	-1	1
21	8	10	2	4
22	8	10	2	4
23	8	6	-2	4
24	7	7	0	0
25	7	6	-1	1
26	4	6	2	4
27	8	9	1	1
28	7	7	0	0
29	7	6	-1	1
30	8	10	2	4
31	7	9	2	4
32	3	9	6	36
33	3	7	4	16
34	8	7	-1	1
			SG1= 31	SG2= 121

Fonte: próprio autor

Para fazer a análise da significância estatística foi calculado o ganho médio, sendo como o número médio de acertos no pós-teste menos o número médio de acertos no pré-teste, e a razão entre o ganho e seu desvio padrão que é a razão *t de Student*. Se o nível de significância for menor que 0,01, a possibilidade de que a melhora dos resultados tenha ocorrido por acaso é menor do que 1%.

Cálculo do ganho médio:

$$\bar{G} = \frac{SG1}{n} = \frac{31}{34} = 0,91$$

Cálculo do desvio padrão do ganho médio:

$$S_{\bar{G}} = \sqrt{\frac{\frac{SG2}{n} + \bar{G}^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{\frac{121}{34} + 0,91^2}{34 - 1}} = 0,083$$

Cálculo da razão *t de Student* e determinação do nível de significância estatística para o ganho médio.

$$t = \frac{\bar{G}}{S_{\bar{G}}} = \frac{0,91}{0,083} = 10,96$$

Através da análise de significância estatística, constatou-se que para os 34 alunos avaliados, o ganho foi de $0,91 \pm 0,08$ acertos entre o pré e o pós-teste. A significância estatística foi menor do que 0,01. Para definir o número da significância estatística do ganho médio, recorreremos à tabela do Anexo A número de graus de liberdade (g.l.) para a razão *t de Student* é o número de alunos menos um, neste caso, $g.l. = 33$. Pela tabela do anexo A encontra-se que o nível de significância estatística associado a $t = 10,96$ é inferior a 0,01 pois nesse nível (0,01) é observado na tabela que para $g.l. = 30$, $t = 2,75$. Assim, foi possível concluir que a probabilidade de que a diferença média entre o pré-teste e o pós-teste tenha ocorrido por acaso é muito pequena (menor do que 1%), assim, pode-se inferir que o aumento de acertos no pós-teste em relação ao pré-teste se deve a aquisição de novos conhecimentos pelos estudantes.

De forma geral, quando comparadas as respostas dos questionários (pré e pós-teste), os resultados indicam que houve uma evolução no conhecimento dos alunos, mesmo havendo questões incorretas verificadas no pós-teste, os estudantes adquiriram conceitos novos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi de mostrar uma forma de utilizar a Astronomia como um tema motivador para o ensino de Física e investigar os resultados da aplicação da sequência didática proposta. Para isso foram realizadas atividades que proporcionassem condições para ter uma aprendizagem significativa, conforme preconizada por David Ausubel, fornecendo aos alunos subsunçores que serviriam de ancoras para os conteúdos que seriam estudados. O uso de vídeos teve grande importância nesse processo, pois a inclusão de audiovisuais nas aulas é uma poderosa ferramenta aliada do professor. Verificou-se a importância dos alunos acompanharem as aulas através da apostila, pois isso os orientou para dirigir sua atenção. O fato de as atividades serem variadas, envolvendo a realização de experimentos, a visualização de simulações e filmes, o uso do telescópio para observação do Sol, tornou as aulas dinâmicas, motivando ainda mais os alunos.

A avaliação da proposta evidenciou que os estudantes evoluíram nos conteúdos, assim foi possível concluir que houve uma aprendizagem.

Temas que abordam conceitos de Astronomia despertam grande interesse nos estudantes e uma forma de promover o interesse e motivação para estudar física é incluir esse tema nas aulas como parte dos estudos.

O desenvolvimento e aplicação desta proposta mostraram que é compensador e que incluir tópicos de Astronomia nas aulas de Física torna o ensino de Física muito mais atrativo.

Espera-se que o produto educacional desta dissertação venha a ser de grande ajuda a educadores que desejam utilizá-lo como ferramenta para suas aulas de Física.

REFERÊNCIAS

ALVES, Marcio José. **O Problema da Incerteza na Medida no Ensino Médio: uma proposta para o ensino**. 2016. 112 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissionalizante em Ensino de Física – Polo UEL) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

AMARAL, Denise Souza. **Estudo de uma sequência didática na perspectiva de Ausubel para alunos do sexto ano do ensino fundamental sobre astronomia**. 2015. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática e Ensino de Física) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

ANDRADE, M. H.. **Exoplanetas como tópico de astronomia motivador e inovador para o ensino de física no ensino médio**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

ASSIS, J. N. M.. **Tópicos de Astronomia no ensino médio: uma investigação a partir de um curso informal**. 2010. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2010.

AUSUBEL, D. **Aquisição e retenção de conhecimentos: Uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Editora Plátano. 2003

AUSUBEL, D.P.; NOVAK, J.D.; HANESIAN, H. **Educational psychology: a cognitive view**. 2ª ed. New York: Holt Rinehart and Winston, 1978.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BARROS, M. F.. **Os movimentos dos planetas e os modelos de universo: uma proposta de sequência didática para o ensino médio**. 2014. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

BRASIL. Lei n. 9394, de 20 de dezembro de 1996. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**. Brasília, MEC, 1996.

BRASIL, Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências Naturais/Secretaria de Educação Fundamental**. Brasília, DF, MEC/SEF, 1998.

BRASIL. Ministério da educação, Secretaria de Educação Básica. **Orientações curriculares para o ensino médio: Ciências da Natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília: MEC, 2006.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília, 2002.

CATELLI, F.; PEZZINI, S.. Observando espectros luminosos – espectroscópio portátil. **Cad. Bras. Ens. Fís.**, v. 21, n. 02, p.339-344, ago, 2004. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/10023/14560>> . Acesso

em: 15 fev. 2016.

DARROZ L.M.. **Uma proposta para trabalhar conceitos de Astronomia com alunos concluintes do curso de formação de professores na modalidade normal.** 2010. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

DEBOM. C. R.. **O aprendizado da Astronomia e das ciências afins com a mediação da observação rudimentar e da imagem astronômica.** 2010. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

Entenda como os cientistas sabem a composição química dos planetas e estrelas. Disponível em: <<http://www.apolo11.com/espectro.php>> Acesso em 4 de maio de 2016.

FILHO, K. S. O.; SARAIVA, M. F. O. **Astronomia e Astrofísica.** São Paulo: Livraria da Física, 2004.

GONZATTI, S. E. M.. **Um curso introdutório à Astronomia para a formação inicial de professores de ensino fundamental, em nível médio.** 2008. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

KEMPER, É.. **A inserção de tópicos de Astronomia como motivação para o estudo da Mecânica em uma abordagem epistemológica para o ensino médio.** 2008. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

KLEIN, T. A. S.; LABURÚ, C. E.. Multimodos de representação e teoria da aprendizagem significativa: possíveis interconexões na construção do conceito de biotecnologia. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 14, n. 02, p.137-152, ago-nov, 2012.

LABURÚ, C. E.; BARROS, M. A.; SILVA, O. H. M.. Multimodos e múltiplas representações, aprendizagem significativa e subjetividade: três referenciais conciliáveis da educação científica. **Revista Ciência e Educação**, Bauru, v. 17, n. 02, p.469-487, 2011.

LABURÚ, C. E.; SILVA, O. H. M.. Multimodos e múltiplas representações: fundamentos e perspectivas semióticas para a aprendizagem de conceitos científicos. **Revista Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16(1), p.7-33, 2011.

LANGHI, R. **Astronomia nos anos iniciais do ensino fundamental: repensando a formação de professores.** 2009. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência). Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru.

LEMKE, J. L. (2003). **Teaching all the languages of science: words, symbols,**

images, and actions. Disponível em: <http://academic.brooklyn.cuny.edu/education/jlemke/papers/barcelon.htm>. Acesso em 10 jun 2017.

MARTIN, B. A.; LANGHI, R. Uma proposta de atividade para a aprendizagem significativa sobre as fases da Lua. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia** – RELEA, n.14, p.27-36, 2012.

MASINI, E. A.S. e MOREIRA, M. A.. **Aprendizagem significativa: condições para ocorrência e lacunas que levam a comprometimentos**. São Paulo: Vetor Editora. 2008.

MEES, A. A.. Astronomia: **Motivação para o Ensino de Física na 8ª série**. 2004. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

MORETTI, R. L.. **Construção e aplicação de um material didático para inserção da Astronomia no ensino médio: uma proposta baseada nos referenciais curriculares do Rio Grande do Sul**. 2012. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

MOREIRA, M. A. **O que é afinal Aprendizagem Significativa?** Aula Inaugural do Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT, 2012, Aceito para publicação, Currículum, La Laguna, Espanha, 2012.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1999.

MOREIRA, M. A.. **Linguagem e aprendizagem significativa**. In: IV Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, 2003. Maragogi. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/linguagem.pdf> > . Acesso em: 13 mar. 2017.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

MUNHOZ, Tatiane Godinho. **Proposta para desenvolver conceitos de astronomia no ensino médio**. 2013. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física e Matemática) – Centro Universitário Franciscano, Santa Maria, 2013.

MÜLLER, A. M.. **O ensino de fundamentos de Astronomia e Astrofísica na modalidade a distância para alunos de graduação**. 2013. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Espírito Santo, Porto Alegre, 2013.

NARDY, M. ; LABURÚ, C. E. . Aprendizagem significativa e educação ambiental: um possível diálogo a partir de estratégias multimodais. **Aprendizagem**

Significativa em Revista, v. 4, p. 26-36, 2014.

NEITZEL, C. L. V.. **Aplicação da Astronomia ao ensino de Física com ênfase em Astrobiologia**. 2006. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

PELIZZARI, A.; KRIEGL, M. L.; BARON, M. P.; FINCK, N. T. L.; DOROCINSKI, S. I.. Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel. **Revista PEC**, Curitiba, v. 02, n. 1, p. 37-42, jul. 2001 – jul.2002.

PRÄS, A. R.. **Teorias de aprendizagem**. 2008. Monografia (requisito para aprovação da disciplina Fundamentos Teóricos para a pesquisa em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

Radiação eletromagnética. Disponível em: <<http://www.astro.iag.usp.br/~jane/aga215/apostila/cap04.pdf>> Acesso em 18 de fevereiro de 2016.

ROCHA, M. O.. **O conceito de campo no eletromagnetismo: uma unidade de ensino potencialmente significativa**. 2015. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015.

ROMANZINI, J.. **Construção de uma sessão de cúpula para o ensino de Física em um Planetário**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2011.

ROSADO, R. M. M.. **Desenvolvimento de um material paradidático para o ensino de Física utilizando a astronomia como tema motivador**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Exatas) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

SCHMITT, César Eduardo. **O uso da astronomia como instrumento para introdução ao estudo das radiações eletromagnéticas no ensino médio**. 2005. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SILVA, T. P.. **Nossa posição no universo: uma proposta de sequência didática para o ensino de Astronomia no ensino médio**. 2015. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015.

SILVA, V. R. Adriana. **Nossa estrela: o Sol**. 1.ed. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2006.

SILVEIRA, F. L.. **Determinando a significância estatística para as diferenças entre médias**. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Comparacoes_em_media.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2017.

SKOLIMOSKI, K. N.; TEIXEIRA, J. N.; ALLEN, M. P. **Sequência de aulas de**

Astronomia: da espectroscopia à Cosmologia. In: XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2011, Manaus, Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xix/sys/resumos/t0495-1.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2016.

SOARES, N.; GURIDI, V. M.. **Uma sequência didática para o ensino de Astronomia baseada na teoria da aprendizagem significativa.** In: II Simpósio Nacional de Educação em Astronomia, 2012. São Paulo. Disponível em: <http://snea2012.vitis.uspnet.usp.br/sites/default/files/SNEA2012_TCO9.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2017.

SOUZA, P. V.; HERNANDEZ, J. L.; ANDRADE, M. A. B. S.; LABURÚ, C. E.. **Multimodos e Múltiplas representações como proposta didática embasada no conceito de Rede.** In: XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – XI ENPEC, 2017, Florianópolis, Disponível em: <<http://www.abrapecnet.org.br/enpec/xi-enpec/anais/resumos/R1221-1.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2017.

TAVARES, R. Aprendizagem significativa e o ensino de ciências. **Ciências e Cognição**, v. 13, n. 1, 2008, p. 94-100.

TAVARES, R. Aprendizagem significativa, codificação dual e objetos de aprendizagem. **Revista Brasileira de informática na educação**, Porto Alegre, v. 18, n.2, p. 4-16, 2010.

TAXINI, C. L.; PUGA, C. C. I.; SILVA, C. S. F.; OLIVEIRA, R. R. Proposta de uma sequência didática para o ensino do tema “estações do ano” no ensino fundamental. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 14, n. 01, p.81-97, jan-abr, 2012.

TROGELLO, Anderson Giovani. **Objetos de aprendizagem: uma sequência didática para o ensino de astronomia.** 2013. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2013.

UHR, A. P.. **O Sistema Solar – Um programa de Astronomia para o ensino médio.** 2007. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

ZOMPERO, A.F.; LABURÚ, C. E.. As relações entre aprendizagem significativa e representações multimodais. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 12, n. 03, p.31-40, set-dez, 2010.

APÊNDICE

APÊNDICE A

PRODUTO EDUCACIONAL

Uma sequência didática como alternativa para o estudo dos fenômenos eletromagnéticos da interação Terra-Sol

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	43
-------------------------	-----------

		41
	PRÉ E PÓS-TESTE	44
1	AULA 01	47
2	AULA 02	47
3	AULA 03	47
3.1	O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO	48
3.2	ESPECTROSCOPIA	51
4	AULA 04	54
5	AULA 05	55
5.1	CONSTRUÇÃO DE UM ESPECTROSCÓPIO	55
6	AULA 06	58
6.1	ESTRUTURA SOLAR	58
6.1.1	INTERIOR SOLAR	59
6.1.2	NÚCLEO	59
6.1.3	CAMADA RADIATIVA	59
6.1.4	TACOCLINA	59
6.1.5	CAMADA CONVECTIVA	59
6.2	ATMOSFERA SOLAR	60
6.2.1	FOTOSFERA	61
6.2.2	CROMOSFERA	62
6.2.3	REGIÃO DE TRANSIÇÃO	64
6.2.4	COROA	65
7	AULA 07	69
7.1	MAGNETISMO SOLAR E MEIO INTERPLANETÁRIO	69
7.1.1	CAMPO MAGNÉTICO	70
7.1.2	MANCHA SOLARES	71
7.1.3	COMO SE FORMAM AS MANCHAS SOLARES	72

		42
7.2	VENTO SOLAR.....	76
8	AULA 8 E AULA 9	7
8.1	RELAÇÕES SOL-TERRA	77
8.1.1	MAGNETOSFERA TERRESTRE.....	77
8.1.2	IONOSFERA TERRESTRE E COMUNICAÇÕES A LONGA DISTÂNCIA	81
8.1.3	TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS.....	85
8.1.4	SATÉLITES E ASTRONAUTAS EM ÓRBITA	88
8.1.5	A CAMADA DE OZÔNIO	89
8.1.6	AURORAS AUSTRALIS E AURORAS BOREAIS.....	90
9	AULA 10.....	93
	REFERÊNCIAS.....	94

INTRODUÇÃO

Através da Astronomia, queremos motivar o aluno a querer aprender, pois a mesma é um tema que atrai bastante a curiosidade. Um aluno motivado é um aluno

que está disposto a aprender. A fim de contribuir na motivação e aprendizado dos conceitos de Física, esta sequência didática apresenta conteúdos dessa disciplina através de tópicos de Astronomia.

As aulas desenvolvidas nesta sequência didática têm por objetivo, levar os alunos ao questionamento e compreensão dos fenômenos da interação Terra-Sol no dia-a-dia. Essa relação entre o conteúdo visto em sala de aula com a realidade do aluno torna o ensino de Física muito mais atrativo.

Esperamos que esse trabalho possa ser de grande ajuda para professores que tenham interesse em utilizar conteúdos de Astronomia como forma de chamar a atenção do aluno para o ensino de Física.

Esta sequência didática é o produto educacional do trabalho de conclusão do curso do Programa de Pós- Graduação do Mestrado Nacional Profissional em ensino de Física (MNPEF), da Sociedade Brasileira de Física (SBF), no polo 19, sediado na Universidade Estadual de Londrina.

PRÉ E PÓS-TESTE

QUESTÕES DE AVALIAÇÃO DO CONHECIMENTO

- 1) Geralmente o espectro eletromagnético é dividido em faixas, os limites destas faixas não são tão bem definidas, sendo que pode ocorrer sobreposição entre as mesmas. Uma dessas faixas é a faixa do visível que vai de 380 nm até 750 nm, assim podemos afirmar que:
 - a) A luz visível é a única capaz de ser percebida pelo olho humano, é gerada por objetos quentes como o Sol ou filamentos de lâmpadas incandescentes.
 - b) A luz visível é gerada no interior de um buraco negro.
 - c) A luz visível é produzida por circuitos de oscilação de cargas elétricas como os de emissoras de TV e rádio AM e FM.
 - d) A luz visível é produzida por usinas hidrelétricas.

- 2) Existem diversos tipos de ondas eletromagnéticas que constituem o chamado espectro eletromagnético. Cada onda difere entre si:
 - a) Pelo valor de sua velocidade.
 - b) Pelo valor de sua frequência e/ou comprimento de onda.
 - c) Pelo valor de seu trabalho.
 - d) Pelo valor de sua aceleração.

- 3) A luz é capaz de passar de um meio para outro, para esse fenômeno damos o nome de:
 - a) Difração
 - b) Refração
 - c) Reflexão
 - d) Dilatação

- 4) O Sol, nossa fonte de luz e de vida, é a estrela mais próxima de nós e a que melhor conhecemos. Basicamente, é uma enorme esfera de gás incandescente, em cujo núcleo acontece a geração de energia, através de:
 - a) Reações termonucleares.
 - b) Corrente de ar quente.
 - c) Fonte de fogo.
 - d) Lava vulcânica.

- 5) As manchas solares são as regiões escuras observadas na superfície do Sol na faixa do visível. Porque essas manchas são escuras?
 - a) As manchas solares são escuras porque esta região possui um campo magnético mais intenso que atrapalha a convecção de energia

proveniente da camada convectiva, logo abaixo da superfície solar, fazendo com que o local fique mais frio.

- b) As manchas solares são escuras por causa da sombra da Terra no Sol.
 - c) As manchas solares são escuras porque a Lua passa na frente do Sol, bloqueando a luz solar.
 - d) As manchas solares são escuras porque esta região possui um campo magnético mais fraco.
- 6) Como é gerado o campo magnético da Terra?
- a) É gerado pelo movimento das placas tectônicas.
 - b) É gerado pelos vulcões na superfície da Terra.
 - c) É gerado pelo mecanismo de dínamo gerado por correntes elétricas no núcleo líquido no interior da Terra.
 - d) É gerado pelas correntes de ar e marítima.
- 7) Graças à magnetosfera e atmosfera terrestre, que agem como um escudo, estamos protegidos no solo dos perigos da atividade solar, a saber, radiação e partículas energéticas que podem ser letais. Ao que está sujeito um astronauta que está em um passeio fora da estação espacial?
- a) Esta sujeito a receber grandes doses de radiação e desenvolver poderes especiais.
 - b) Esta sujeito a desenvolver catarata, câncer de pele, ou até mesmo a receber uma dose fatal de radiação durante uma explosão solar.
 - c) Esta sujeito a desidratação devido à exposição prolongada ao Sol.
 - d) Esta sujeito a cair no Sol por causa de sua alta gravidade.
- 8) O que você entende por vento solar?
- a) Fluxo de ar quente.
 - b) Fluxo de partículas carregadas.
 - c) Fluxo de partículas neutras.
 - d) Tornados na superfície da Terra.
- 9) As relações solares-terrestres dizem respeito à influência do Sol e sua atividade no ambiente da Terra. A causa dominante desta influência é a injeção de partículas e radiação proveniente da atividade solar no espaço próximo à Terra. Quais as principais consequências para o ambiente terrestre e para os equipamentos eletrônicos dos quais nossa sociedade é cada vez mais dependente? **Assinale as alternativas corretas.**
- a) Aumento da temperatura da ionosfera.
 - b) Telefonia móvel e transmissão de tv por satélite são afetadas ou

imobilizadas temporariamente.

- c) Os satélites (comunicação, meteorológicos, navegação, exploração de recursos, salvamento, pesquisa, militares, etc.) são as grandes vítimas pois estão expostos o tempo todo e podem ter circuitos eletrônicos danificados e, por consequência, causar transtornos imensos à humanidade.
- d) Induções sobre linhas de transmissão podem causar danos imensos à rede elétrica e aos os usuários, podendo levar até mesmo a um “apagão”.

10) Como são causadas as auroras polares?

- a) São causadas pela refração da luz que passa pelas gotículas de água suspensas no ar.
- b) São causadas por nuvens da alta atmosfera.
- c) São causadas pela interação de partículas de alta energia, principalmente elétrons, com os átomos neutros da alta atmosfera da Terra.
- d) São causadas pela luz refletida da Lua que atinge a alta atmosfera.

1. AULA 01

Aula 01: (apresentação da proposta e exibição do documentário: Segredos do Sol). Nesta aula é apresentado o conteúdo que será estudado e as atividades que serão desenvolvidas. Logo após é exibido o documentário da série O Universo: Segredos do Sol, no qual apresenta uma prévia dos principais conteúdos da proposta de trabalho, fornecendo assim subsunçores que servirão de ancoras para o aprendizado dos conteúdos que serão vistos.

Link do vídeo (Segredos do Sol): <https://www.youtube.com/watch?v=pLCjBSLPn0w>

2. AULA 02

Aula 2: (aplicação do pré-teste). Como na aula anterior os alunos tiveram o primeiro contato com os conteúdos que seriam estudados, nesta segunda aula é aplicado o pré-teste que servirá de base para se ter uma ideia do conhecimento prévio desses estudantes.

3. AULA 03

Aula 3: (espectro eletromagnético). Nesta aula é estudado sobre a natureza da luz e suas características. É representado o espectro eletromagnético e enfatizado que o que enxergamos é uma pequena faixa do espectro (a faixa do visível) e que o Sol emite radiação ao longo de todo o espectro eletromagnético. Através da análise da radiação eletromagnética de diversas fontes diferentes, é possível definir propriedades físicas e químicas destes corpos.

3.1 O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

A luz se desloca no espaço por meio de ondas eletromagnéticas, que não necessitam de um meio físico para serem transportadas, e, portanto diferem dos outros exemplos de ondas encontrados na natureza, como ondas na água, ondas sonoras, sísmicas, etc.

A velocidade da luz no vácuo é uma das constantes fundamentais da física e seu valor é de 3×10^8 m/s. Mas o que é uma onda eletromagnética? No século XIX, James Clerk Maxwell, um físico escocês, descobriu que campos elétricos e magnéticos oscilando juntos formam uma onda, que foi denominada onda eletromagnética. Estes campos elétrico e magnético oscilam perpendicularmente entre si e também são perpendiculares à direção do movimento da onda, conforme mostrado na figura 3.1.

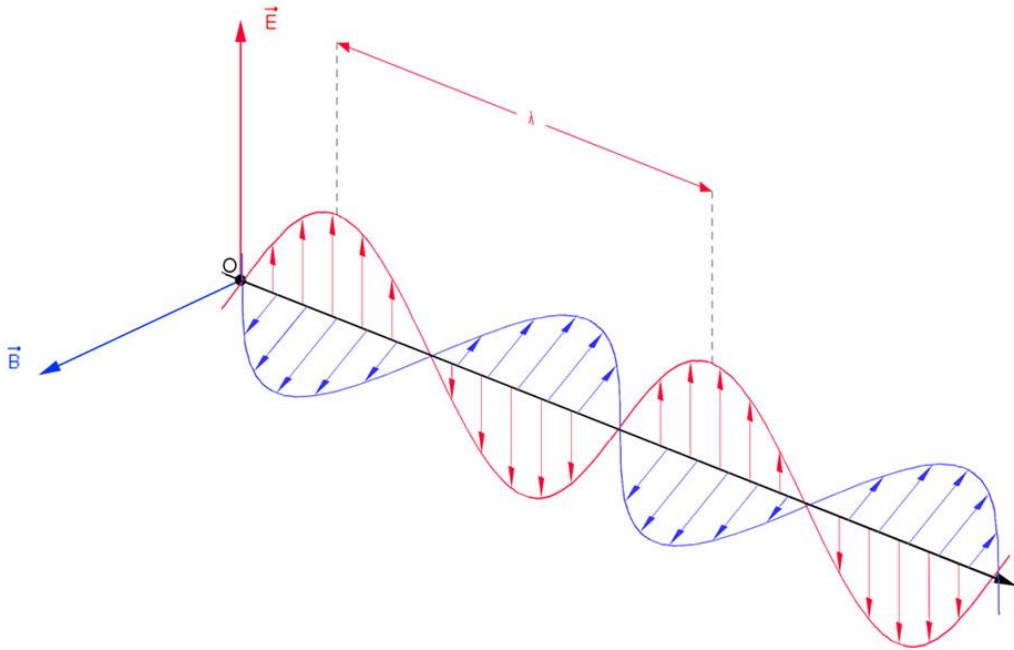


Figura 3.1. Ilustração dos campos elétricos (vertical) e magnético (horizontal) que compõem uma onda. O comprimento de uma onda, λ , é a distância entre dois picos. (<http://www.pontociencia.org.br/galeria/content/Fisica/Optica/Untitled-1.jpg>)

Uma onda eletromagnética tem uma frequência f , um comprimento de onda λ (distância entre dois picos consecutivos da onda) e uma velocidade v , que estão relacionados pela equação: $v = f\lambda$. Quanto maior a frequência, menor será o comprimento de onda, portanto, a frequência e o comprimento de onda são grandezas inversamente proporcionais.

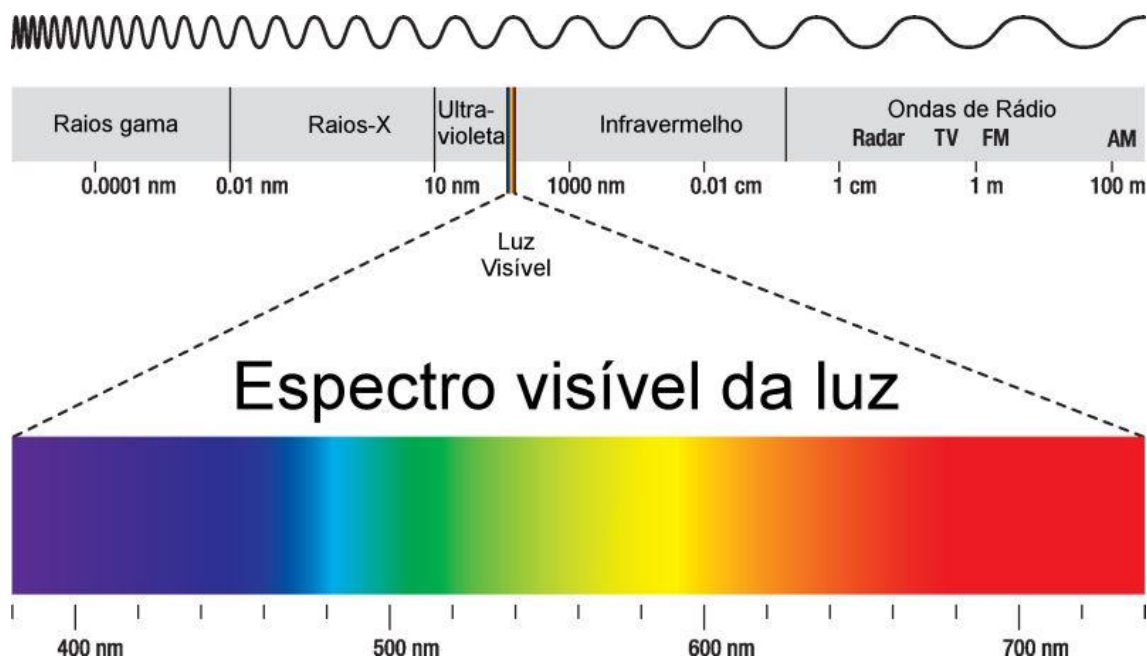


Figura 3.2. Espectro eletromagnético desde os raios gama com os comprimentos de onda mais curtos até as ondas de rádio que possuem comprimentos de centenas de quilômetros. (<http://www.infoescola.com/wp-content/uploads/2007/12/espectro-visivel-da-luz.jpg>)

Geralmente o espectro eletromagnético é dividido em faixas, como mostrado na figura 3.2. Convém salientar que os limites destas faixas não são tão bem definidos como mostra a figura, sendo que pode ocorrer sobreposição entre as mesmas.

De todas as faixas do espectro eletromagnético, a mais conhecida é a estreita faixa da luz visível, mostrada de forma expandida na figura. Nosso cérebro reconhece estes comprimentos de onda como as diferentes cores que vão desde o violeta (380 nm) até o vermelho (750 nm). Entre estes dois comprimentos de onda estão todas as outras cores visíveis. A luz do Sol, tal como a enxergamos a olho nu, é a soma das múltiplas ondas eletromagnéticas com diferentes comprimentos de onda na faixa do visível. Sir Isaac Newton foi o primeiro a perceber este fato, no final da década de 1660, ao decompor a luz do Sol em um arco-íris usando um prisma e transformá-la novamente em luz branca com um segundo prisma. (figura 3.3)



Figura 3.3. Ilustração artística da experiência de Newton (1642 - 1727), na qual ele verifica a decomposição da luz branca nas cores de seu espectro. (<https://charlespaolino.files.wordpress.com/2010/02/newton-1.jpg>)

O Sol emite radiação ao longo de todo o espectro eletromagnético, desde os energéticos raios X e gama até ondas quilométricas de rádio, passando pelo ultravioleta, visível, infravermelho, e micro-ondas como vimos na figura 3.2.

Qualquer corpo aquecido a uma certa temperatura emite radiação eletromagnética em todos os comprimentos de onda, mas o comprimento de onda onde se dará o valor máximo da emissão será determinado pela temperatura do corpo. É por isso que uma barra de metal aquecida fica avermelhada e, conforme sua temperatura continua aumentando, torna-se azulada. Este tipo de emissão é chamado de radiação térmica.

Um gás quente também emite radiação com energias bastante restritas, produzindo aquilo que percebemos como linhas coloridas dentro do espectro eletromagnético. Exemplos disto são as luzes de néon (figura 3.4) dos avisos luminosos.



Figura 3.4. Placa decorativa com lâmpadas de neon. (<https://sc02.alicdn.com/kf/HTB1D6iEKVXXXXX2XXXXq6xXFXXr/Neon-note-sign.jpg>)

Esta radiação é emitida quando elétrons em um átomo sofrem uma transição de um nível de energia mais alto para outro de energia menor. Diferentemente da radiação térmica, que gera um contínuo de emissão em todos os comprimentos de onda, cada transição eletrônica gera uma emissão em um comprimento de onda específico, denominado linha de emissão. Cada átomo possui um conjunto de linhas de emissão que são características únicas e intrínsecas, como se fossem suas impressões digitais. Para entendermos melhor esse conjunto de linhas de emissão, vamos estudar sobre a espectroscopia.

3.2 ESPECTROSCOPIA

A espectroscopia consiste na análise da radiação eletromagnética que vem de uma fonte, como, por exemplo, o Sol, uma nebulosa ou até mesmo a chama de uma vela, para poder definir propriedades físicas e químicas destes materiais.

Entre algumas das propriedades bastante importantes para o estudo de um objeto astronômico, está sua temperatura, seu tamanho, a abundância de elementos químicos que fazem parte de sua composição, sua velocidade de aproximação ou afastamento e também seu estágio de vida, no caso dele ser uma estrela.

O instrumento utilizado na espectroscopia é chamado de espectrôscópio (figura 4.6), e foi primeiramente utilizado em 1859 por seus criadores: o físico alemão Gustav Kirchhoff (1824-1887) em parceria com o químico alemão Robert Bunsen (1811-1899). (figura 3.5).



Figura 3.5. Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) (à esquerda na figura ao lado) e Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899) (à direita).
(http://www.experimentum.org/blog/wp-content/uploads/2010/02/kirchoff_bunsen1-213x300.jpg)

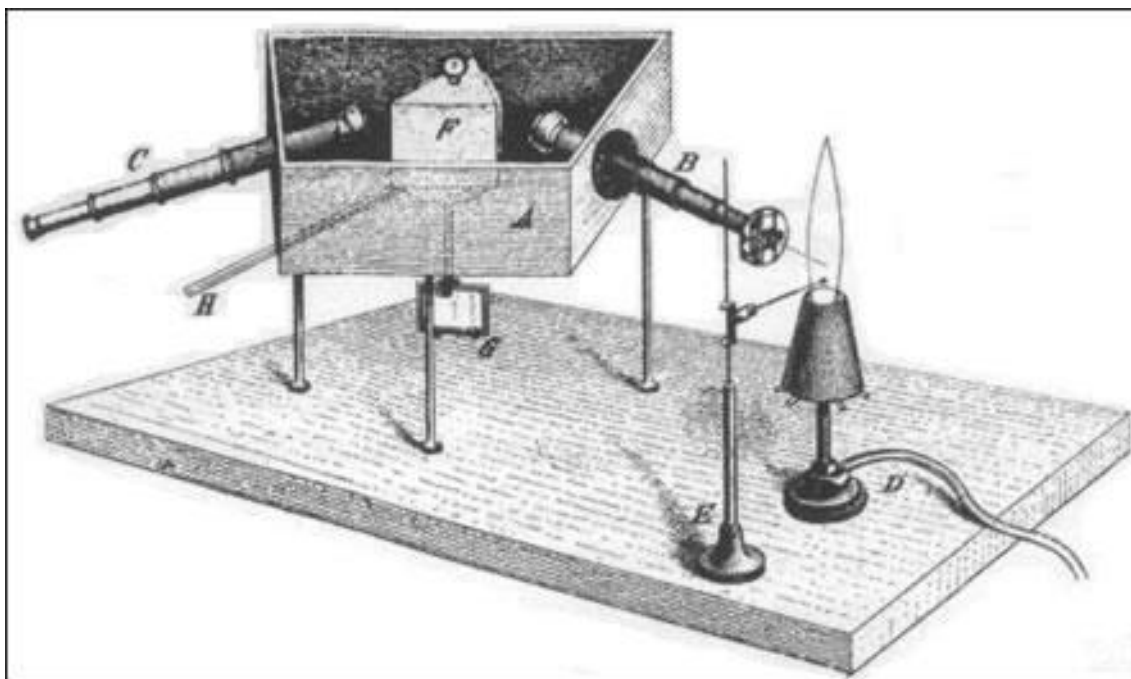


Figura 3.6. Espectroscópio Kirchhoff-Bunsen. (<http://www.experimentum.org/blog/wp-content/uploads/2010/02/espectroscopio-Kirchhoff-Bunsen1.jpg>)

A parceria surgiu pela soma dos conhecimentos de Kirchhoff, que sugeriu que um elemento químico puro ao ser queimado emite uma radiação com cor bem característica (Teste da Chama), e dos de Bunsen, que conseguiu inventar um

queimador de gás metano (CH_4) com controle da entrada de ar e cuja cor não interferia no experimento.

A partir do uso do espectroscópio foi possível obter uma grande variedade do que são chamados “espectros”, ou, fisicamente falando, diagramas de amplitude da radiação eletromagnética. Cada um dos espectros obtidos por meio do ‘Teste da Chama’, ou seja, “espectros de emissão”, resultavam em faixas coloridas contra um fundo preto conforme visto na figura abaixo:

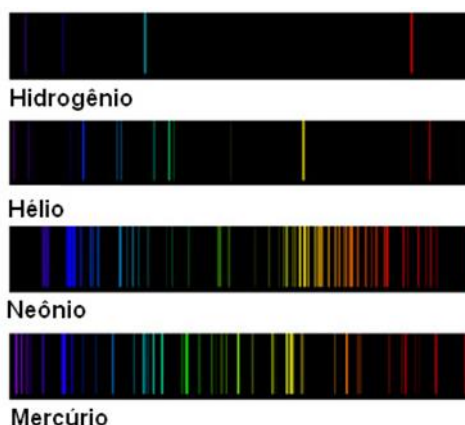


Figura 3.7: Espectros de emissão (<https://brasilescola.uol.com.br/upload/conteudo/images/espectros-de-emissao.jpg>)

Foi graças a esse estudo que Kirchhoff e Bunsen descobriram, em 1860, dois elementos químicos que chamaram de Césio e Rubídio, do latim “Cesium”, que significa “azul-acinzentado”, e “Rubidium”, que significa “vermelho”. Também em 1868 alguns astrônomos detectaram a presença de outro elemento, o qual chamaram de “Hélio”, do grego “Helios” que significa “Sol”.

Quanto aos espectros chamados de “espectros de absorção”, estes eram como o do Sol, visto por Wollaston e Fraunhofer, com a maior parte colorida e repleto de faixas pretas. Tais faixas foram explicadas pela terceira das Três Leis de Kirchhoff para a espectroscopia:

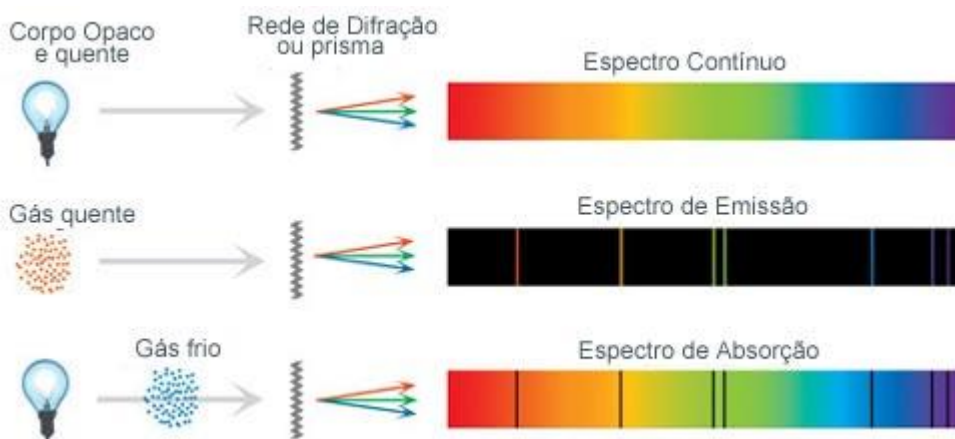


Figura 3.8: Os três tipos de espectros na classificação de Kirchhoff: o contínuo, o de emissão e o de absorção. (http://www.apolo11.com/imagens/etc/leis_kirchhoff.jpg)

- Um corpo opaco (que não deixa passar luz) quente, em qualquer um dos três estados físicos, emite um espectro contínuo;
- Um gás transparente produz um espectro de emissão, com o aparecimento de linhas brilhantes. O número e a posição dessas linhas serão determinados pelos elementos químicos presentes no gás;
- Se um espectro contínuo passar por um gás à temperatura mais baixa, o gás frio causa a presença de linhas escuras, ou seja, será formado um espectro de absorção.

No caso de estrelas como o Sol, por exemplo, temos que para camadas de gás cada vez mais distantes do seu núcleo a temperatura é menor, ou seja, quanto mais o gás se afasta mais ele esfria. É por isso que quando a luz que está sendo emitida a partir da camada chamada de “fotosfera”, mais próxima do núcleo, atravessa essas camadas mais distantes, parte da energia é absorvida e são então formadas as faixas pretas.

Observando os espectros de emissão e absorção, é possível notar que alguns possuem correspondência. Sabendo que o gás que absorveu a energia também foi emitido pelo Sol, é possível saber do que ele é feito pelas faixas que ‘sumiram’ do seu espectro.

Depois que Kirchhoff e Bunsen descobriram que cada elemento natural produz linhas espectrais próprias e Joseph Lockyer descobrir o elemento Hélio apenas observando o espectro solar, os astrônomos passaram a apontar seus "espectroscópios" para diversas estrelas, planetas e nebulosas e diversas propriedades dos objetos celestes se tornaram conhecidas. Olhar diretamente os planetas e estrelas não era mais tão interessante. A moda era ver as raias luminosas e estudar as propriedades físicas dos objetos.

Atualmente a análise espectral não é feita apenas no seguimento visível da luz, que vai de 400 a 700 nanômetros, mas também nos comprimentos de onda do infravermelho e ultravioleta, onde os gases e sólidos apresentam propriedades diferentes. Além disso, os espectroscópios não usam mais os prismas para decompor a luz e sim redes de difração, uma espécie de anteparo com milhares de riscos que espalham os diversos comprimentos de onda da luz.

4. AULA 04

Aula 4: (exibição do documentário: Escondido na Luz da série Cosmos). Este episódio da série Cosmos explora as propriedades da luz, o método científico e a composição do Universo. Nele é visto também a importância da espectroscopia, que sem a espectroscopia, praticamente não teríamos conhecimento astrofísico.

Link do vídeo: <https://vimeo.com/180639278>

5. AULA 05

Aula 5: (construção de um espectroscópio simples). Com materiais de baixo custo, nesta aula é confeccionado um espectroscópio, instrumento utilizado para analisar o espectro de diversas fontes luminosas. Cada aluno constrói seu espectroscópio e pode observar o espectro de algumas fontes como: lâmpada incandescente, lâmpada fluorescente, lâmpada de luz negra, chama de vela e lâmpada de led.

5.1 CONSTRUÇÃO DE UM ESPECTROSCÓPIO SIMPLES

Objetivo:

- construir um espectroscópio simples, para observar o espectro de diversas fontes luminosas.

Materiais:

- fita isolante
- fita adesiva
- 1 CD
- tesoura
- caixa de creme dental

Construindo a rede de difração

Retire a película refletora do CD usando fita adesiva (grude-a na superfície e puxe-a). Se necessário, faça um pequeno corte com a tesoura no CD para facilitar o início da remoção.



Figura 5.1: Pedaco de cd que será usado como rede de difração.

Depois de retirada a película, recorte um pedaço do CD (mais ou menos 2cm x 2cm). Utilize preferencialmente as bordas, pois as linhas de gravação (que não enxergamos) são mais paralelas, conseqüentemente a imagem será melhor. É importante fazer uma marcação no pedaço recortado do CD para não esquecer qual a orientação das linhas (em qual posição as linhas são paralelas).

Construindo o espectroscópio

De posse de uma caixa de creme dental ou outra similar (as dimensões abaixo foram dadas apenas como exemplo), corte (com uma tesoura ou estilete) uma janela de uns 3 cm por 4 cm na “tampa” A, e, na tampa B, faça uma janela de 1 cm por 3,5 cm.

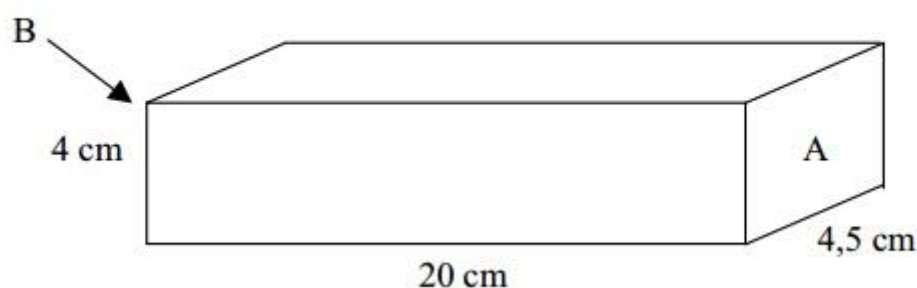


Figura 5.2: Dimensões aproximadas da caixa (por exemplo, uma caixa de creme dental).

Na janela maior (“tampa” A), cole a rede de difração de CD, de acordo com a posição indicada na figura 5.3. A colagem pode ser feita com fita isolante preta, de modo a evitar que a luz possa entrar na caixa, a não ser através da rede de difração.

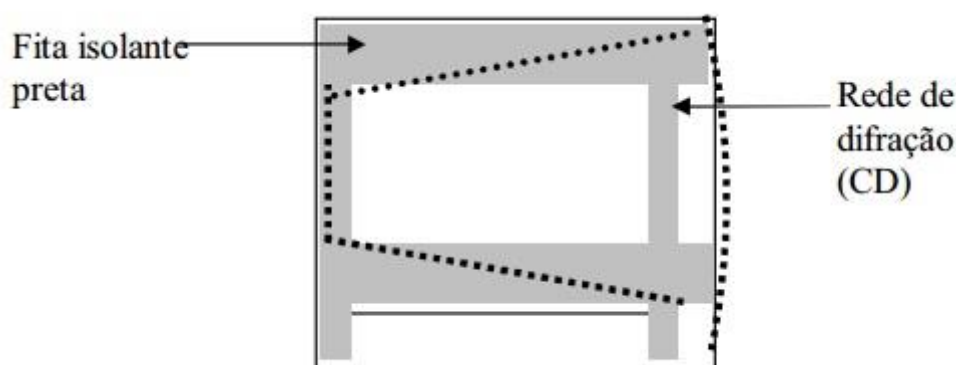


Figura 5.3: Montagem da rede na “tampa” A

Cole as tampas no cilindro, deixando a fenda alinhada com a abertura. Fixe o pedaço recortado do CD na tampa com a abertura, usando a fita isolante apenas nas bordas. Preferencialmente, alinhe as linhas de gravação paralelamente à fenda do espectroscópio, assim as imagens que observaremos também estarão alinhadas com a fenda. Caso opte por usar cola, tenha cuidado para não sujar a superfície do

CD. Nesse caso, fixe o pedaço de CD na parte interior do espectroscópio e aguarde o tempo necessário para a cola secar.

Na janela menor (“tampa” B), através de duas tiras de fita isolante, faça uma fenda de menos de 1mm de largura, sobre a área da janela menor.

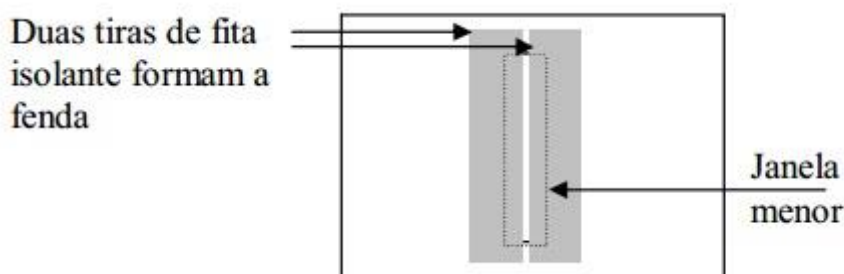


Figura 5.4: Construindo a fenda na janela menor (tampa B). A largura da fenda deverá ser o mais uniforme possível e, no máximo, de 1 mm.

Usando o espectroscópio

O espectroscópio poderá ser usado para analisar as mais diversas fontes de luz (velas, lâmpadas comuns, anúncios luminosos, telas de TV ou de computador, e muitas outras). Descrevemos, a título de exemplo, uma aplicação especialmente simples e interessante: a análise da luz das lâmpadas fluorescentes. Aponte a fenda estreita para uma lâmpada fluorescente, e olhe através da janela na qual você colocou o pedaço de CD, como indicado na figura 5.5.

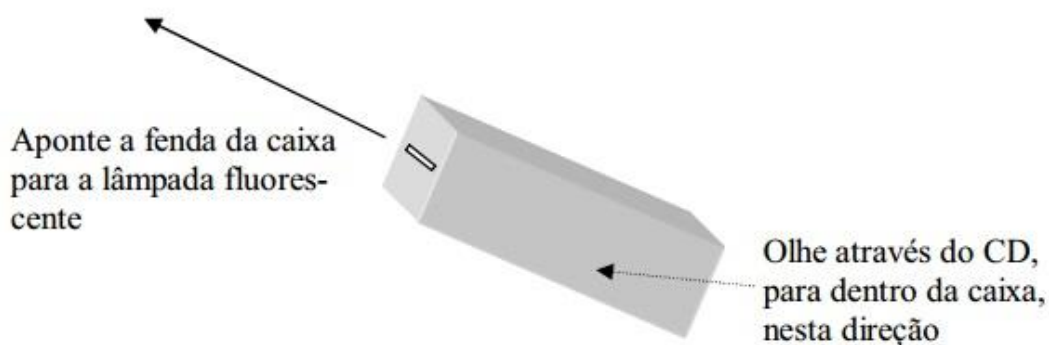


Figura 5.5: Fazendo observações com o espectroscópio portátil. Note que a fenda da caixa deve estar paralela à lâmpada fluorescente.

Por sobre o fundo colorido (no qual aparecem todas as cores do espectro visível), algumas linhas (violeta, verde e amarelo) se destacam. Estas linhas (“raias”) nada mais são que “cópias” da fenda estreita, cada uma correspondendo a uma frequência ou cor, ou comprimento de onda específicos. Como explicar este “destaque” que algumas cores têm? Se a lâmpada fluorescente não possuísse o revestimento interno branco, não veríamos o fundo contínuo de cores, veríamos apenas “cópias” da fenda (iluminada pela lâmpada), em violeta, verde, amarelo. (Lâmpadas fluorescentes sem o revestimento branco são disponíveis comercialmente, e são usadas em armadilhas para insetos, bastante comuns em açougues). Vista a olho nu, a luz tem um tom violeta intenso. Experimente levar seu espectroscópio portátil a um açougue, e olhe a armadilha de insetos através dele.

Atividade

Escolha fontes de luz diferentes e observe através do espectroscópio. Olhe pela abertura em que está fixado o CD e direcione a fenda para a fonte de luz. Procure por uma posição de observação em que você visualize “cores” no interior do tubo. Você verá dois espectros projetados em lados opostos da fenda. Eles são idênticos e invertidos. Use o lápis de cor para esboçar a imagem do espectro que vê.

6. AULA 06

Aula 6: (estrutura solar). O Sol é basicamente dividido em duas regiões: o interior e a atmosfera, nesta aula são estudados as camadas que formam o Sol, que vai do núcleo no seu interior até a coroa solar em sua atmosfera.

6.1 ESTRUTURA SOLAR

O Sol é dividido basicamente em duas regiões: o interior e a atmosfera. O conhecimento que temos do interior solar é devido a modelos de estrutura estelar e de medidas de heliosismologia. Já a atmosfera pode ser analisada via observações diretas nos vários comprimentos de onda. Estas observações fornecem uma visão das diferentes camadas da atmosfera, pois dependendo do comprimento de onda, a emissão é proveniente de diferentes alturas da atmosfera.

6.1.1 INTERIOR SOLAR

O interior solar é a região que vai do centro até a superfície do Sol e, para fins de estudo, é dividido em camadas;

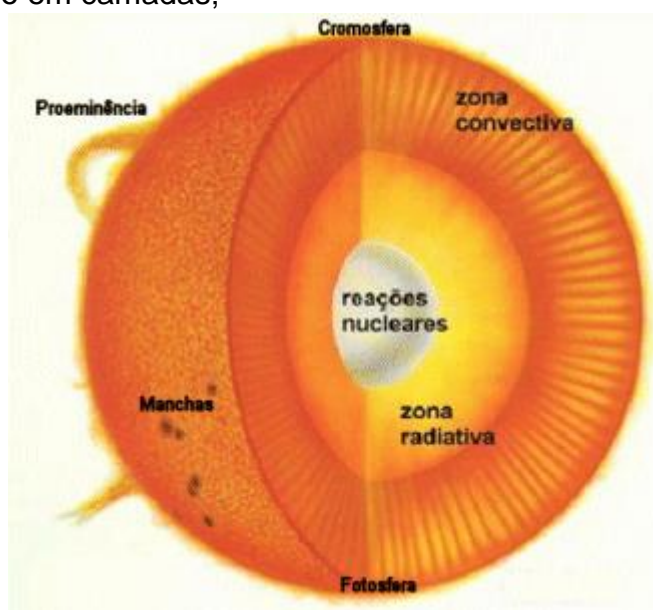


Figura 6.1. Esquema ilustrativo das várias camadas do Sol. (<http://astro.if.ufrgs.br/esol/zonas.gif>)

6.1.2 NÚCLEO

O brilho do Sol que nos ilumina e aquece é também responsável por manter a vida na Terra. Mas o que tem mantido o Sol brilhando por bilhões de anos? Durante séculos os cientistas fizeram-se esta pergunta. Foi somente em 1939 que o físico alemão Hans Bethe encontrou a explicação para a fonte da energia das estrelas. Bethe descobriu que esta energia provinha das reações nucleares que acontecem na região central das estrelas. No caso do Sol, esta região é interior a um quarto do raio solar. Esta descoberta lhe valeu o prêmio Nobel em 1967.

São as reações de fusão nuclear que transformam os elementos químicos em outros (como hidrogênio em hélio). Para que essas reações ocorram, é necessário que a temperatura seja alta o suficiente para superar a repulsão elétrica dos núcleos de hidrogênio (ou prótons). Para que as reações que transformam hidrogênio em hélio (fonte de energia de estrelas de baixa massa como o Sol) ocorram, são necessárias temperaturas de 15 milhões de Kelvin.

6.1.3 CAMADA RADIATIVA

Depois que a energia é produzida no centro do Sol, inicia-se uma longa jornada rumo à superfície da estrela, cuja duração pode variar de aproximadamente 100 mil até um milhão de anos. Da borda do núcleo (25% do raio solar) até aproximadamente 70% do raio solar, a radiação flui, sendo absorvida e re-emitida pelos íons do plasma. Nessa camada a temperatura do plasma solar vai diminuindo de dentro para fora de 7 para 2 milhões de graus. A densidade também diminui de 20000 kg/m³ (aproximadamente a densidade do ouro) para 200 kg/m³, menor que a densidade da água (1000 kg/m³).

6.1.4 TACOCLINA

Entre a camada radiativa e a convectiva existe uma camada intermediária muito fina em relação ao raio do Sol (espessura menor do que 1% do raio), denominada tacoclina devido à grande variação de velocidade em uma estreita camada. Na parte mais interna desta camada, no topo da zona radiativa, praticamente não existem fluxos de matéria. Porém, conforme atravessamos a camada os fluxos aumentam e, na parte superior, igualam-se aos movimentos da camada convectiva. A importância desta camada reside justamente nestas mudanças da velocidade de escoamento do plasma. Acredita-se que esta variação súbita na velocidade do plasma seja responsável pela geração do campo magnético solar através de um processo de dínamo.

6.1.5 CAMADA CONVECTIVA

A camada convectiva é a mais externa do interior do Sol, iniciando-se em 70% do raio solar e estendendo-se até a superfície. Por volta de 70% do raio (200000 km abaixo da superfície), a temperatura decresce para cerca de 10000°C. A essas temperaturas relativamente baixas, formam-se íons de hidrogênio, carbono, nitrogênio, oxigênio e ferro, potentes absorvedores da radiação proveniente do núcleo. Isto impede o livre fluxo da radiação, tornando o plasma instável à

convecção. A partir deste ponto a energia é transportada por convecção. Assim como na camada radiativa, a temperatura e a densidade do plasma continuam diminuindo até atingirem a superfície do Sol.

Um exemplo de transporte de energia convectiva pode ser observado em uma panela de água fervendo, onde a energia no fundo da panela é transportada para a superfície do líquido pelo movimento da água que está no fundo da panela em direção à sua superfície. Este método de transporte de energia é bastante eficiente. Os movimentos convectivos podem ser vistos na superfície do Sol como grânulos (com aproximadamente 1000 km de extensão), mostrados na figura 6.2.

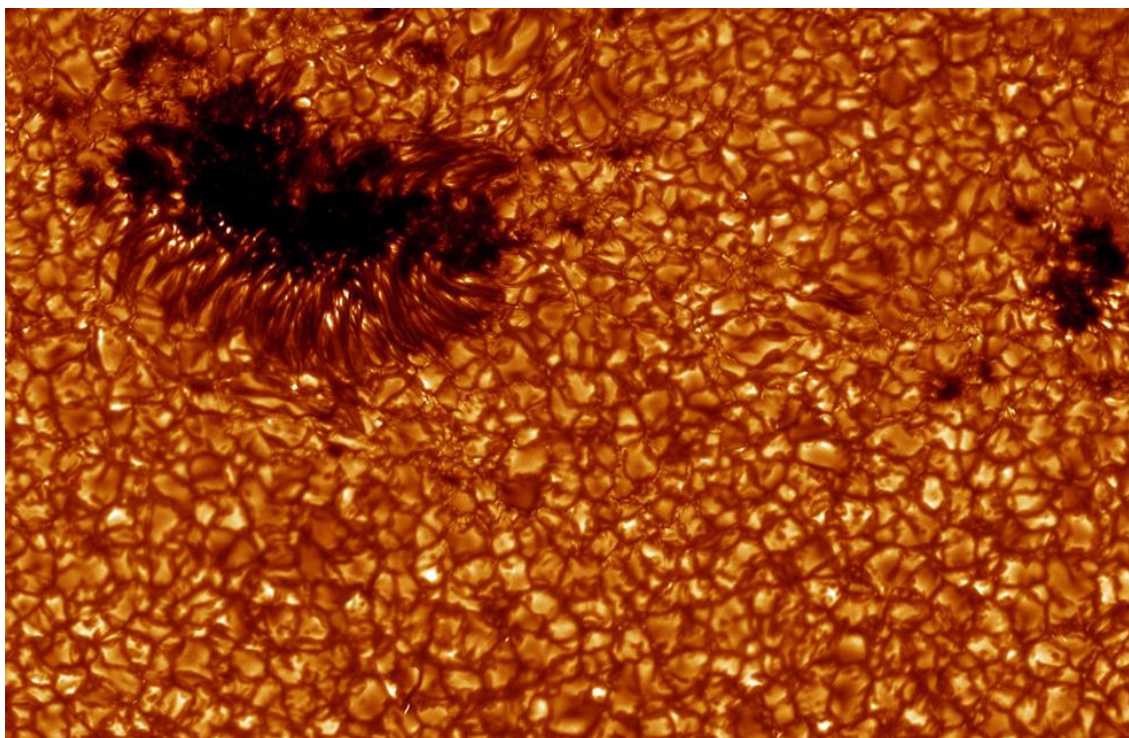


Figura 6.2: Região na superfície solar, mostrando os grânulos. (<http://k17.kn3.net/21F8008BA.jpg>)

6.2 ATMOSFERA SOLAR

Sendo uma esfera de gás, o Sol não tem uma superfície no sentido tradicional da palavra. A superfície solar é definida como a região completamente opaca à emissão visível, isto é, a camada a partir da qual não é mais possível enxergar a emissão das camadas interiores. Portanto, esta superfície pode ser pensada como uma superfície imaginária de onde toda luz solar parece ser emitida. O plasma solar muda de completamente transparente à luz visível para totalmente opaco em apenas 300 km, aproximadamente.

Acima da superfície do Sol, existe uma atmosfera bastante rarefeita. De acordo com a temperatura, a atmosfera também é dividida em camadas. A primeira camada, muito estreita, tem 300 km e é relativamente fria. Também conhecida como a superfície visível do Sol, é chamada de fotosfera. A próxima camada, de cor avermelhada, é a cromosfera, cuja temperatura é de dezenas de milhares de Kelvin. Esta camada é visível em eclipses solares e pode ser observada, cotidianamente, em comprimentos de onda específicos do visível, no ultravioleta e em altas frequências de rádio. A terceira camada, ou coroa, é a mais extensa e permeia todo o meio interplanetário. Esta última camada possui temperatura de milhões de Kelvin e pode ser vista em raios X ou durante eclipses, ou ainda utilizando-se um

coronógrafo, um dispositivo que bloqueia a luz do disco solar simulando um eclipse. Entre a cromosfera e a coroa encontra-se uma região de transição. Nesta região bastante fina (aproximadamente 100 km) ocorrem mudanças extremamente bruscas na densidade e principalmente temperatura. É na atmosfera solar que acontecem as explosões solares.

6.2.1 FOTOSFERA

Quando nos referimos à superfície do Sol, normalmente estamos falando da fotosfera. A fotosfera compreende uma fina camada de apenas 300 km de espessura. Em sua base, a temperatura é de aproximadamente 5507°C, e decai lentamente até 3927°C, que é a região de mínima temperatura do Sol. Conforme vimos a atmosfera solar é bastante rarefeita, o que permite que a radiação oriunda das camadas internas do Sol escape para o meio interplanetário. O diâmetro solar, normalmente se refere ao diâmetro da fotosfera. A fotosfera, ou superfície do Sol, não é lisa e sem estruturas, como acreditavam os gregos. Em 1610, Galileu projetou a imagem do Sol com auxílio de sua luneta e descobriu que o disco solar continha manchas escuras. Normalmente as manchas aparecem em grupos que também são denominados de região ativa. Hoje sabemos que estas regiões escuras são locais onde a temperatura varia entre 1000 e 2000 Kelvin, aproximadamente, mais baixa do que o restante da superfície.

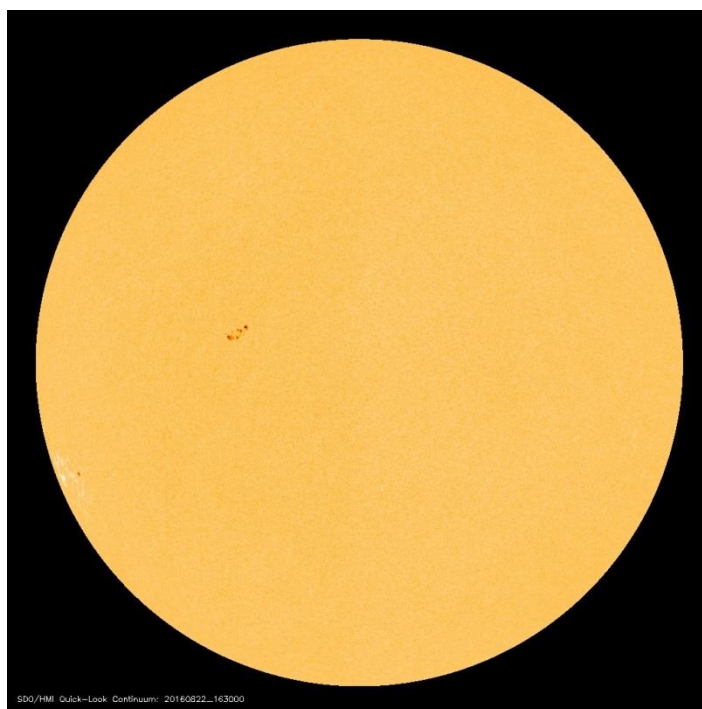


Figura 6.3: O Sol na faixa do visível. (SOHO)

Esta superfície parece estar fragmentada em células que estão em constante ebulição (figura 6.2) chamadas de grânulos, que nada mais são do que o topo das células da camada convectiva. Na superfície do Sol também são observados pontos brilhantes denominados fáculas (figura 6.4) mais facilmente visíveis próximos ao bordo solar.

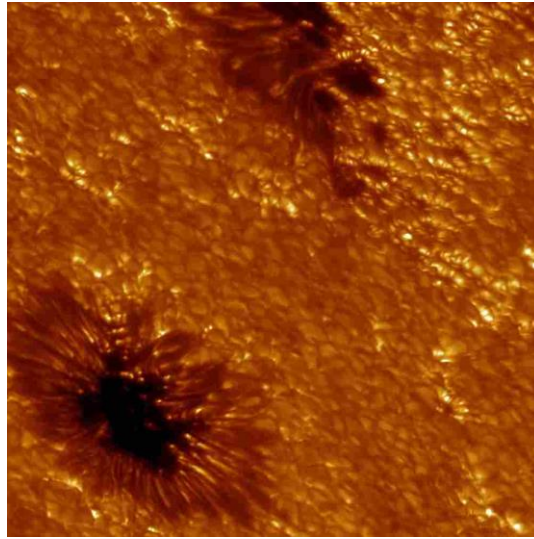


Figura 6.4: As manchas solares, regiões escuras, são rodeadas por pequenas regiões brilhantes denominadas fáculas. (<http://tnt.astro.su.se/news/20060913.jpg>)

6.2.2 CROMOSFERA

Logo acima da fotosfera está a cromosfera, uma camada heterogênea da atmosfera solar, de cor avermelhada, que pode ser vista durante eclipses solares totais (figura 6.5). O gás desta camada está a uma temperatura de 10000 K e aumenta até 20000 K em apenas 10000 km.

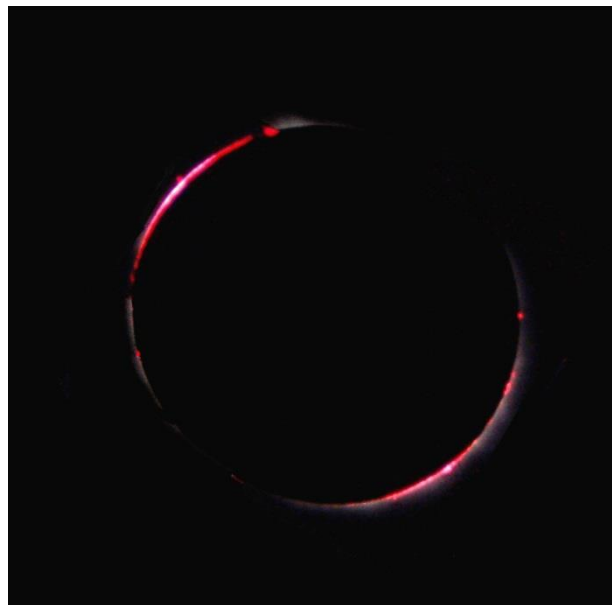


Figura 6.5: Foto de eclipse solar evidenciando a cor avermelhada da cromosfera. (http://www.gruppoastronomicotradatase.it/eclissi/ecl2006/ces_a24.jpg)

A cromosfera pode ser vista regularmente com o auxílio de filtros específicos nos telescópios ópticos, filtros esses que deixam passar apenas a radiação com comprimento de onda de 656,3 nm, referente a uma transição do átomo de Hidrogênio ($H\alpha$). Para que estas transições ocorram, o gás deve estar preferencialmente a uma temperatura de 10000 K. Como a fotosfera é bem mais fria esta camada quase não emite radiação neste comprimento de onda. Portanto, qualquer emissão que venha a ser captada neste comprimento de onda será quase totalmente proveniente da cromosfera. Um exemplo de uma fotografia do Sol tirada usando-se um filtro $H\alpha$ é mostrado na figura 6.6. Isto permite que uma série de estruturas sejam observadas, como as manchas escuras rodeadas pelas brilhantes plages, além dos filamentos e proeminências. Plages, ou praias em francês, são regiões brilhantes ao redor das manchas solares, melhor visualizadas em imagens em $H\alpha$, que estão associadas às regiões com campos magnéticos intensos.

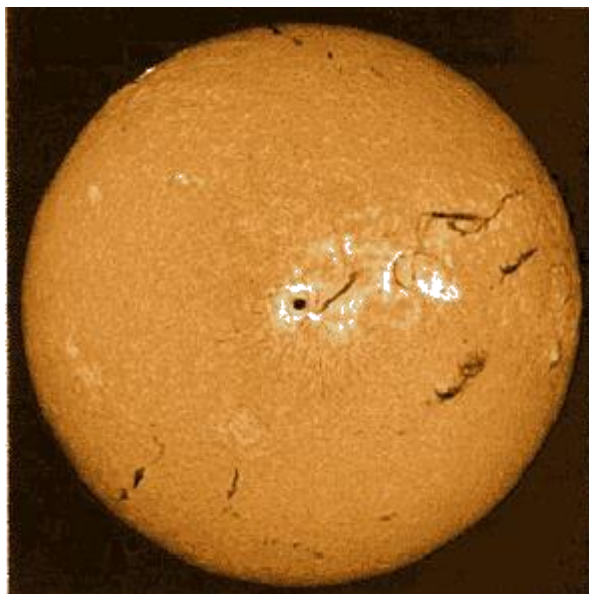


Figura 6.6. Imagem na linha de emissão do hidrogênio neutro em 656,3 nm mostrando as várias estruturas encontradas na cromosfera. (<http://astro.if.ufrgs.br/esol/img1.gif>)

As imagens em $H\alpha$ mostram a existência de filamentos escuros que são estruturas mais frias e densas do que o plasma ambiente, estrutura essas que são suspensas pelos campos magnéticos solares. Por serem mais frias, os filamentos aparecem como regiões mais escuras quando visualizadas contra o disco do Sol. Contudo, estas mesmas estruturas aparecem como arcos brilhantes quando vistas no limbo (borda) do Sol contra o céu escuro e, nestes casos, são chamadas de proeminências (figura 6.7). Entretanto, os filamentos e as proeminências correspondem ao mesmo tipo de estrutura, aparecendo de forma diferenciada dependendo apenas da maneira como são visualizados.

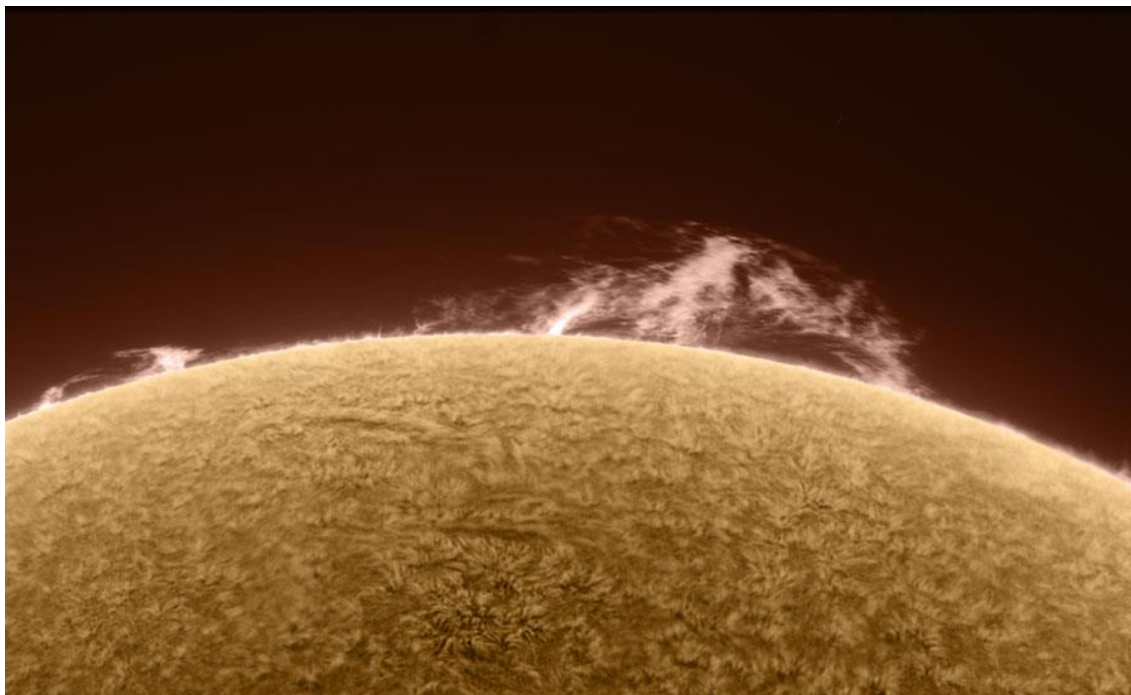


Figura 6.7. Proeminências. (<http://www.astronoo.com/images/soleil/protuberances-solaires.jpg>)

Próximo ao limbo solar, podem ser vistos jatos de matéria que duram em média de 1 a 20 minutos, tempo durante o qual ascendem alguns milhares de quilômetros na cromosfera. Estes jatos são chamados de espículas. As espículas são mais densas e frias do que a cromosfera circundante. Acredita-se que entre 1 a 10% da superfície solar é recoberta por espículas.

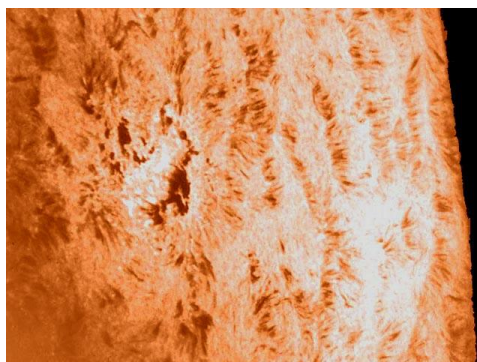


Figura 6.8. Imagem em H α de espículas, estruturas escuras, próximas ao limbo solar. (http://www.skyandtelescope.com/wp-content/uploads/spicules_side-view_1.jpg)

6.2.3 REGIÃO DE TRANSIÇÃO

A região de transição é uma camada bastante fina (100 km) e irregular da atmosfera solar que separa a relativamente fria cromosfera da próxima camada, a coroa. Nesta região a temperatura cresce rapidamente de 20000 K para milhões de Kelvin. A estas temperaturas quase todo o Hidrogênio do plasma solar encontra-se ionizado, portanto na forma de prótons e elétrons, e a emissão dominante provém das linhas de emissão de íons ionizados várias vezes. Esta emissão se dá na faixa do ultravioleta do espectro eletromagnético, só podendo ser detectada por instrumentos a bordo de satélites (isto é, que estejam fora da atmosfera terrestre).

Figura 6.9 mostra imagens do Sol obtidas simultaneamente pelo satélite SOHO usando-se filtros com diferentes comprimentos de onda.

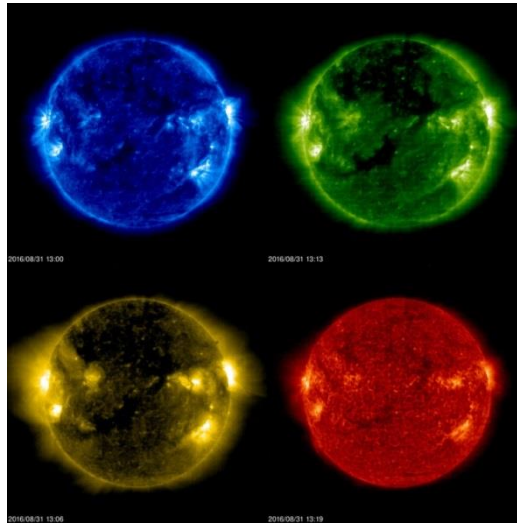


Figura 6.9. Imagens do Sol obtidas pelo satélite SOHO no ultravioleta e extremo ultravioleta em diferentes linhas de emissão. A coloração é artificial: azul – linhas de emissão do Fe oito a nove vezes ionizado ($\lambda = 17,1$ nm); verde – linha de emissão do Fe onze vezes ionizado ($\lambda = 19,5$ nm); amarelo – linha do Fe catorze vezes ionizado ($\lambda = 28,4$ nm); e laranja – linha do He uma vez ionizado ($\lambda = 30,4$ nm).

6.2.4 COROA

A coroa é a camada mais externa da atmosfera solar, que é mais concentrada até cerca de dois raios solares, mas na realidade se estende por todo meio interplanetário. É uma camada bastante heterogênea e extremamente tênue, mas muito quente, com temperaturas entre 2 e 4 milhões de Kelvin. Devido a sua baixa densidade, a coroa só pode ser observada na faixa do visível durante eclipses (figura 6.10) ou com a utilização de um coronógrafo (instrumento que simula um eclipse artificial através do posicionamento de uma artefato circular no plano focal do telescópio, a fim de bloquear a luz do disco solar).

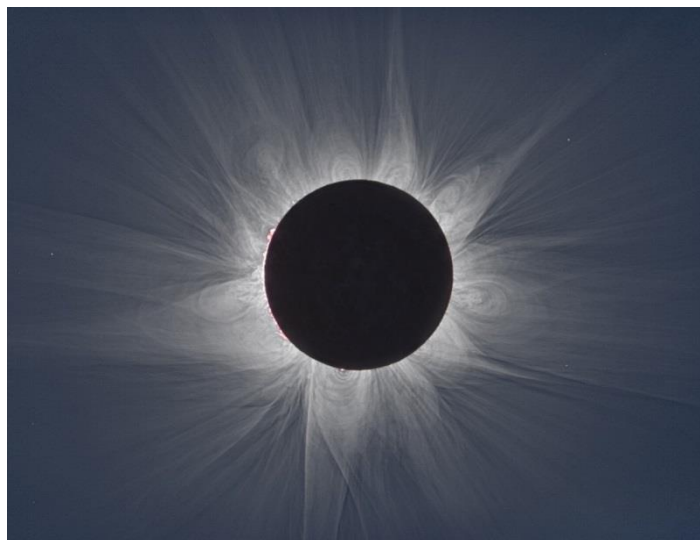


Figura 6.10. Fotografia de eclipse solar na luz visível mostrando a tênue coroa. (<http://epod.usra.edu/a/6a0105371bb32c970b017d412929a5970c-pi>)

Normalmente a coroa é mais facilmente visualizada em raios X devido às suas altas temperaturas. As imagens do Sol na faixa de raios X (figura 6.11) mostram regiões brilhantes formadas por arcos magnéticos que são delineados pelo plasma completamente ionizado atrelado a esses campos magnéticos. As explosões solares também acontecem na coroa.

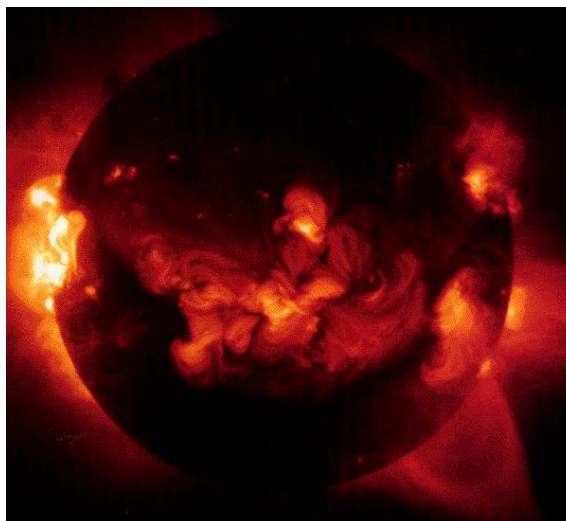


Figura 6.11. Imagem do Sol em raio X, que mostra o plasma da coroa aquecido a milhões de Kelvin. (http://heasarc.gsfc.nasa.gov/Images/StarChild/solar_system_level2/sun_big.gif)

A temperatura da atmosfera solar aumenta continuamente da superfície solar até a coroa, sendo esta centenas de vezes mais quente que a fotosfera. De acordo com a Termodinâmica, o calor não deveria fluir de uma região mais fria para uma mais quente. Isso nos leva a supor a existência de uma fonte de energia adicional. Ainda não se sabe exatamente qual é esta fonte de energia da atmosfera solar que faz com que a temperatura aumente de uns 6000 até milhões de Kelvin. Vários mecanismos já foram propostos, mas nenhum deles é capaz de aquecer, sozinho, a coroa a temperaturas tão altas. A resposta a esta questão parece estar na combinação de mais de um processo.

Como a coroa é transparente à luz visível da fotosfera, o mecanismo em questão não pode ser radiação, pois esta atravessa livremente toda a coroa sem depositar nenhuma energia. Uma fonte possível são os movimentos mecânicos da camada convectiva. Os primeiros mecanismos propostos foram ondas sonoras e ondas magnéticas. Um requisito que deve ser satisfeito é que a energia tem que ser transportada de baixo para cima até a coroa e então depositada no gás coronal. As ondas sonoras geradas pelos movimentos turbulentos na camada convectiva logo se transformam em onda de choque dissipando sua energia à medida que se propagam na atmosfera solar, com densidade cada vez menor. Hoje sabe-se que a energia contida nas ondas sonoras daria apenas para aquecer a cromosfera a 10000 K, mas não seria suficiente para aquecer a coroa até milhões de Kelvin. Por outro lado, ondas magnéticas foram detectadas a vários raios solares de distância pelas sondas Mariner5 e Ulysses. O resultado dessas observações nos indica que as ondas magnéticas também estão presentes na coroa solar e que conseguem atravessá-la, podendo ser parcialmente responsáveis pelo aquecimento coronal.

Atualmente, o mecanismo mais aceito é o que resulta da liberação de energia magnética causada pela reconfiguração de pequenos arcos magnéticos. O satélite SOHO observou pequenos abrilhantamentos transitórios na faixa do ultravioleta (regiões brilhantes mostradas na figura 6.12) acima das pequenas regiões de campos magnéticos bipolares (regiões brancas e pretas na figura). Estas regiões

bipolares, presentes em toda a superfície solar, são conectadas entre si por pequenos arcos magnéticos que foram batizados de “tapete magnético”. Os abrilhantamentos sugerem que pequenas quantidades de energia magnética são liberadas constantemente devido a mudanças na configuração dos pequenos arcos magnéticos. Dado o grande número de ocorrência destas modificações dos arcos magnéticos, que estão presentes em todo o disco solar e ocorrem frequentemente, o total de energia magnética liberada pode contribuir para uma fração significativa do aquecimento coronal.



Figura 6.12. A imagem representa a emissão na faixa do ultravioleta, mostrando os pequenos abrilhantamentos. Sobreposta a esta imagem estão as regiões magnéticas com polaridade positivas (branco) e negativas (preto). Conectando essas diferentes polaridades estão desenhadas as linhas de força do campo magnético, constituindo um verdadeiro tapete magnético (<http://www.das.inpe.br/ciaa/cd/HTML/sol/imagens/fig4.12.jpg>).

Até 1970, acreditava-se que a coroa era estática, com mudanças muito lentas. A partir do lançamento de satélites como coronógrafos, descobriu-se que a coroa é uma estrutura bastante dinâmica, apresentando variações locais em sua estrutura em questão de horas, como a que podemos observar na figura 6.13.

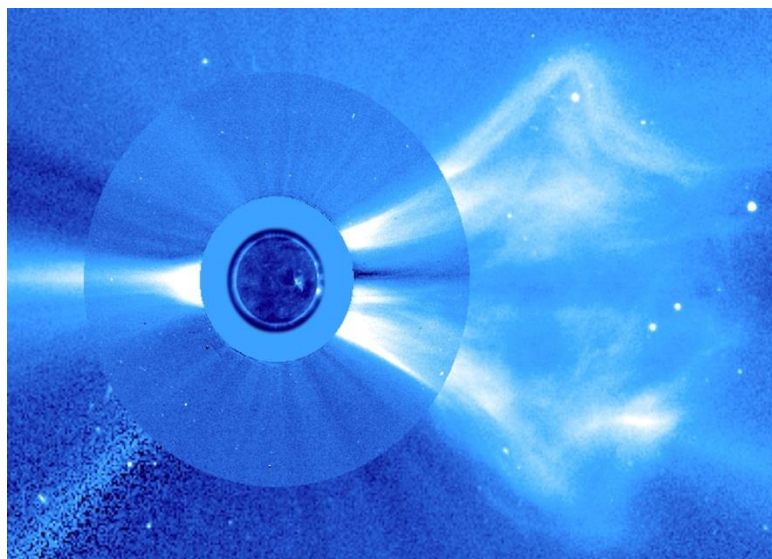
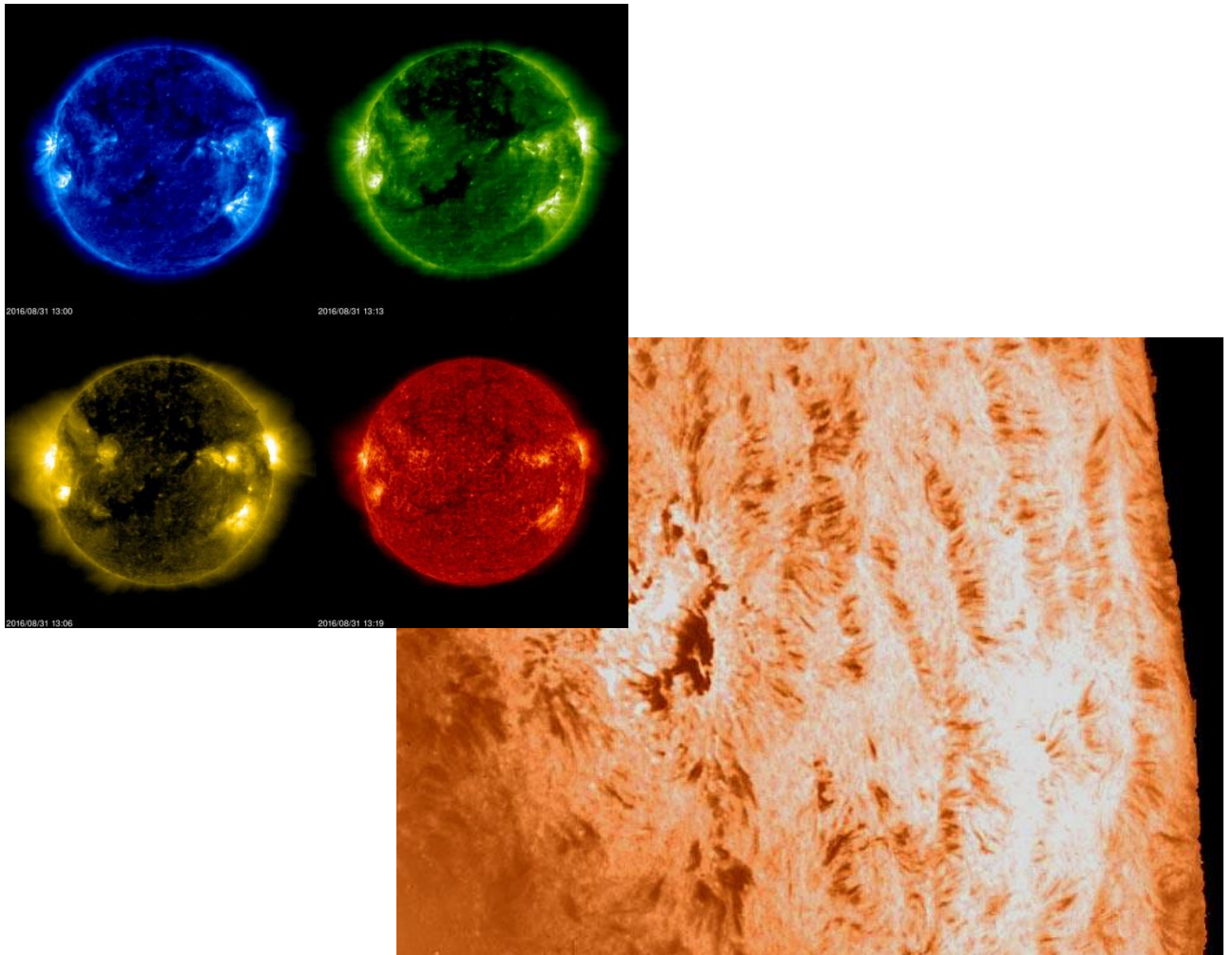


Figura 6.13. Composição de imagens obtidas com os dois coronógrafos do satélite SOHO mostrando a ruptura de uma estrutura na coroa solar, salientando o seu caráter dinâmico. Os pequenos pontos brancos são estrelas (<http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/images/large/agueit.jpg>)

A temperatura da atmosfera varia com a altitude, aumentando de baixo para cima. Isto faz com que diferentes regiões da atmosfera com temperaturas distintas tenham seu máximo de emissão em diferentes comprimentos de onda. As regiões mais quentes como a coroa, a milhões de Kelvin, produzem raios X, enquanto que a fotosfera, com temperaturas bem inferiores (5780 K), emite luz na faixa do visível. A cromosfera e a região de transição, com temperaturas intermediárias, brilham no ultravioleta e extremo ultravioleta. O mecanismo de emissão em ondas de rádio é, em parte, distinto daquele responsável pela radiação térmica. Por exemplo, a emissão na faixa de micro-ondas requer plasmas a temperaturas de milhares de Kelvin. Estas temperaturas são encontradas na cromosfera e, portanto, as imagens em rádio nestas frequências se assemelham às obtidas em $H\alpha$, produzidas na cromosfera (figura 6.9 e 6.8)



A intensidade da radiação em diferentes comprimentos de onda depende da temperatura do plasma emissor. Além disso, o mecanismo de emissão também pode variar de uma faixa para outra do espectro eletromagnético. Sendo assim, as camadas da atmosfera solar, com suas temperaturas distintas, irradiam em diferentes comprimentos de onda. O resultado é uma análise tomográfica da atmosfera quando se observa o Sol em vários comprimentos de onda, cuja emissão é proveniente de diferentes alturas dependendo do mecanismo de radiação e da temperatura do plasma.

7. AULA 07

Aula 7: (magnetismo solar e o meio interplanetário). Nesta aula é estudado como o campo magnético do Sol é produzido em seu interior e como se formam as manchas solares. Também que o Sol emite constantemente um fluxo de partículas carregadas, o chamado vento solar.

7.1 MAGNETISMO SOLAR E O MEIO INTERPLANETÁRIO

O magnetismo desempenha um papel fundamental nos fenômenos solares. O campo magnético solar, assim como o dos planetas, é produzido no seu interior por fluxos de partículas eletricamente carregadas como elétron e íons. No caso do Sol, podemos dividir o campo magnético solar em dois tipos. Um é mais intenso de se encontra fortemente localizado nas manchas solares, enquanto o outro é mais fraco e tem uma dimensão muito maior, com a forma aproximada de um dipolo. A magnetosfera solar composta por este campo, chamada de heliosfera, engloba todo o Sistema Solar.

7.1.1 CAMPO MAGNÉTICO

Campos magnéticos são encontrados em todo o Universo, desde galáxias até planetas. O Sol, assim como a Terra e vários outros planetas do Sistema Solar (Mercúrio, Terra, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno), também possui um campo magnético, sendo este muito maior e mais intenso do que o de qualquer planeta. Para facilitar a visualização, podemos imaginar que existe um gigante ímã em forma de barra no interior da Terra ou do Sol, conforme mostrado na figura 7.1.

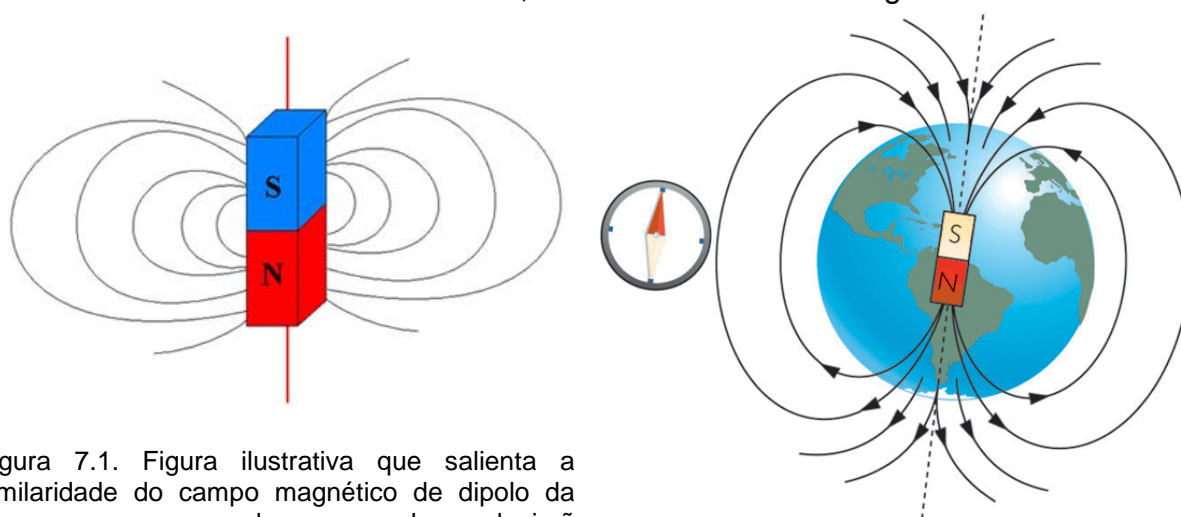


Figura 7.1. Figura ilustrativa que salienta a similaridade do campo magnético de dipolo da Terra ao campo gerado por uma barra de ímã (http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/upload/conteudo_legenda/7bb7ab8856ae12d0ba3fbb1e18a58c2c.jpg), (http://4.bp.blogspot.com/_CuSiusqFHcs/TNstHRleLpI/AAAAAAAAACI/qDNSpNk5kPo/s1600/capo.png).

As linhas na figura 7.1 mostram a direção para a qual a agulha de uma bússola apontaria. Estas linhas são chamadas de linhas de força do campo magnético e são linhas imaginárias que saem de um dos polos magnéticos, dão a volta em torno do planeta ou do Sol e entram novamente pelo polo oposto. O campo magnético criado por uma barra de ímã tem a forma característica mostrada na figura, este tipo de configuração é denominado campo de dipolo, campo esse que também pode ser criado por uma corrente elétrica circulando no interior do planeta.

O campo magnético médio do Sol é de 0,01 Tesla, equivalente ao de um ímã de geladeira a distâncias bem pequenas, e aproximadamente 100 vezes mais intenso do que o da Terra.

7.1.2 MANCHAS SOLARES

As manchas solares são as regiões escuras observadas na superfície do Sol na faixa do visível, como mostra a figura 7.2. As manchas solares são escuras porque esta região possui um campo magnético mais intenso que atrapalha a convecção de energia proveniente da camada convectiva, logo abaixo da superfície solar, fazendo com que o local fique mais frio. Enquanto o disco solar encontra-se a 5780 K, as manchas solares têm temperaturas da ordem de 3500 – 4500 K. No entanto, se fosse possível isolar uma destas manchas e colocá-la contra o céu escuro, esta mancha seria mais brilhante que a Lua cheia.

A atmosfera sobre um grupo de manchas solares observada em comprimentos de onda na faixa do ultravioleta, raios X e rádio aparece como regiões mais brilhantes do que o resto do disco solar, denominadas de regiões ativas. É nas regiões ativas que acontecem as explosões solares e outros tipos de atividade solar, daí seu nome. As manchas solares duram, em média, umas poucas semanas desde o seu aparecimento no disco solar até seu desaparecimento completo. Estas manchas, na fotosfera, com temperatura aproximadamente 2000 graus mais baixas do que os arredores, são compostas basicamente por duas regiões. Isso pode ser visto na figura 7.3, que mostra a ampliação de uma mancha solar. A região interior das manchas solares – chamada de umbra – é mais fria e, portanto, mais escura do que os arredores que compõem a região externa, ou seja, a penumbra.

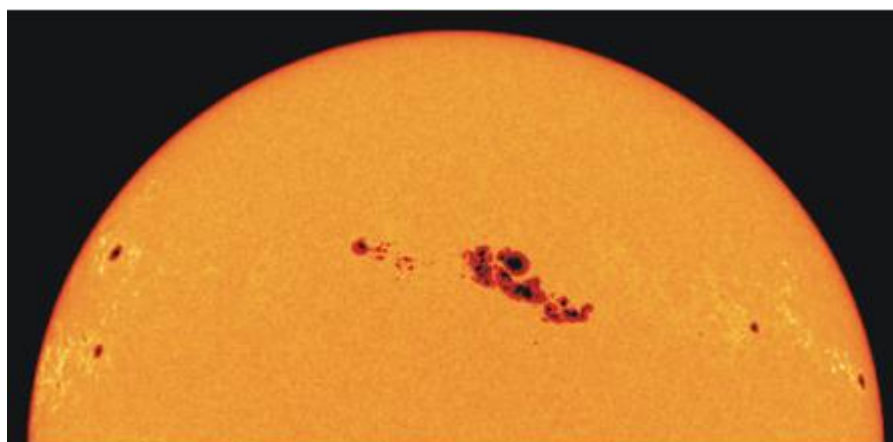


Figura 7.2. Fotografia de um grupo de manchas solares (<http://www.observatorio.ufmg.br/Sol2.gif>)

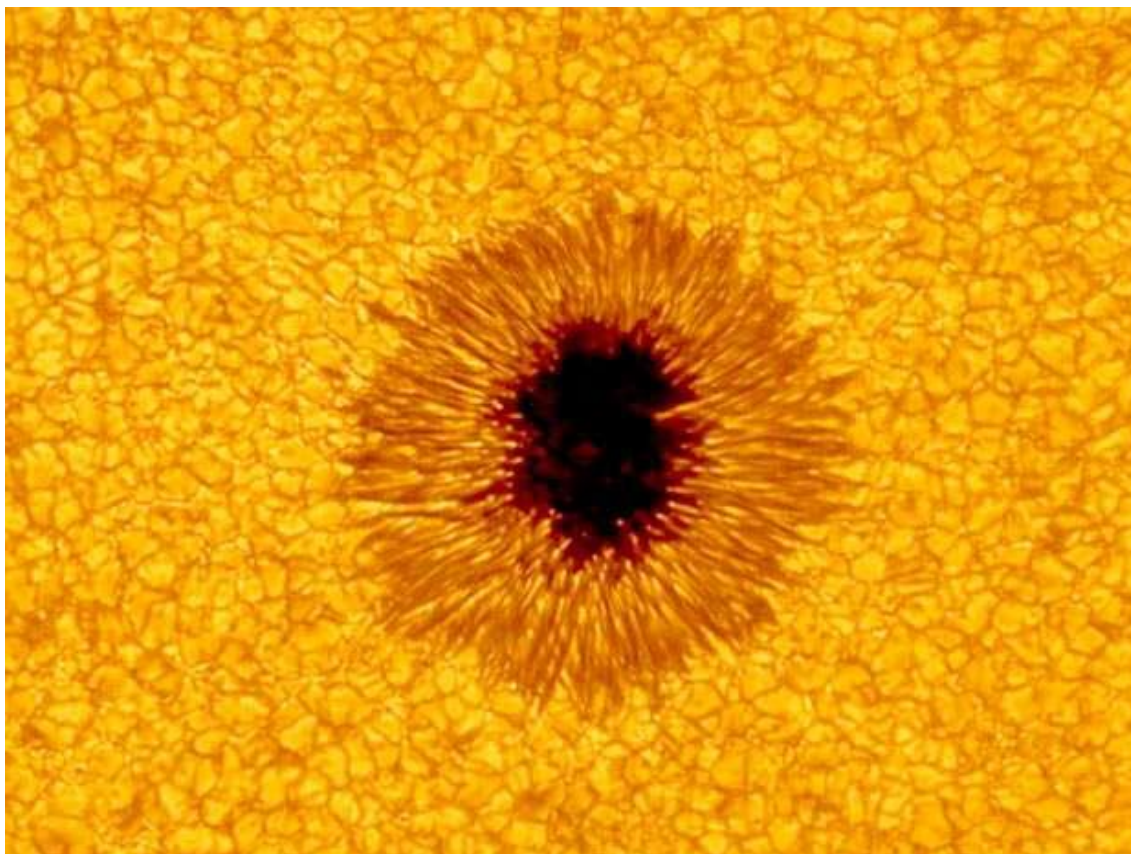


Figura 7.3. Ampliação de uma mancha solar, região escura da imagem (<http://p1.trrsf.com.br/image/get?src=http://img.terra.com.br/i/2010/08/25/1634071-0155-atm14.jpg>).

7.1.3 COMO SE FORMAM AS MANCHAS SOLARES

Modelo de Babcock

O modelo de Babcock explica como as manchas solares se formam e como o campo magnético solar varia ao longo do tempo. Por causa da rotação diferencial, que faz com que as regiões com baixas latitudes girem mais rápido do que as polares, as linhas de campo magnético nas regiões próximas ao equador são “esticadas” e acabam sendo “enroladas” ao redor do Sol (figura 7.4). Isto ocorre por causa da alta condutividade elétrica do plasma solar que faz com que as linhas de campo magnético acompanhem o movimento do plasma, como se estivessem “congeladas” neste. As linhas de campo magnético mostradas na figura 7.4 localizam-se abaixo da superfície solar no fundo da camada convectiva, mais especificamente na taoclina.

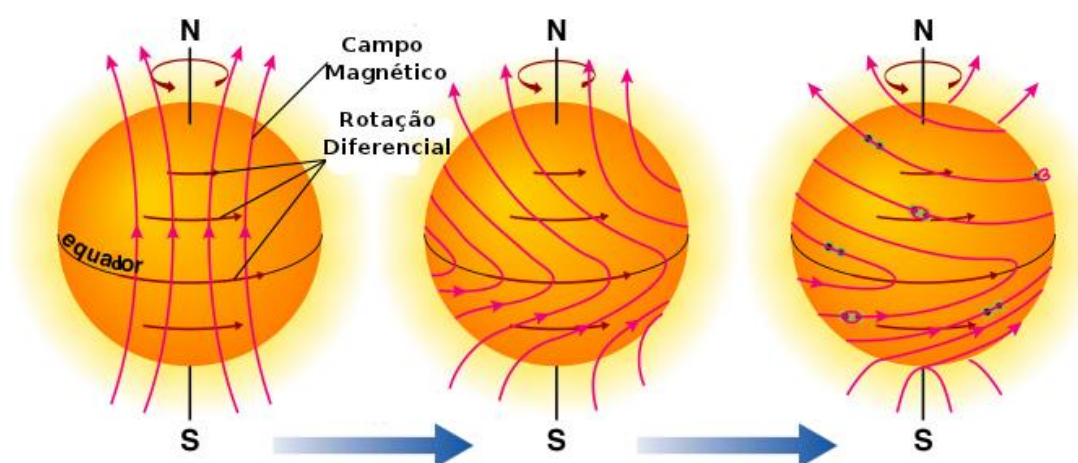


Figura 7.4. Sequência de representações da configuração das linhas de campo magnético logo abaixo da superfície solar dependendo da época do ciclo de atividade. A figura da esquerda, em um período de mínima atividade solar, mostra as linhas quase verticais em uma configuração semelhante a de um dipolo magnético. Na figura central, as linhas aparecem um pouco distorcidas devido à rotação diferencial do Sol. Finalmente, durante o máximo solar, as linhas de campo magnético foram bem arrastadas, enrolando-se em torno do equador solar (figura da direita) (<http://astronomia.blog.br/wp-content/uploads/2012/03/solarcycle.jpg>).

Uma região em forma de tubo contendo campos magnéticos intensos é chamada de tubo de fluxo magnético. Estes tubos têm diâmetros que variam de aproximadamente 300 km até 2000 km. Dentro destes tubos de fluxo existe uma pressão magnética que faz com que eles se tornem menos densos do que o plasma ao seu redor. Para entender por que isso ocorre, devemos considerar que o plasma dentro do tubo de fluxo deve estar em equilíbrio com o meio ao redor, isto é, a pressão do lado de fora é simplesmente a pressão do gás. A pressão dentro do tubo, isto é, $P_{\text{gás fora}} = P_{\text{gás dentro}} + P_{\text{mag}}$. Logo, a pressão do gás dentro do tubo deve ser menor do que a pressão do gás fora do tubo. A pressão de um gás é proporcional ao produto da sua densidade pela temperatura. Como a temperatura é a mesma tanto dentro como fora do tubo, isto implica que a densidade do gás dentro do tubo seja menor do que a densidade do plasma fora do tubo.

Por serem menos densos que o meio externo, os tubos “bóiam” em direção à superfície solar, ou fotosfera. No caminho de subida através da camada convectiva, a força de Coriolis (causada pela rotação solar) “torce” as linhas de campo magnético. A ação mútua entre a rotação diferencial e esta torção amplifica o campo magnético dentro dos tubos. Algumas vezes, uma alça do tubo de fluxo magnético atravessa a superfície solar. O local onde este tubo “perfura” a superfície solar é onde se formam as manchas solares. Este modelo bastante simples e qualitativo, conhecido como modelo de Babcock, também explica o fato das manchas solares sempre ocorrerem aos pares, uma na ponta de onde sai o arco magnético com uma polaridade e outro onde este entra novamente para baixo da superfície solar com polaridade magnética oposta (figura 7.5). A figura 7.6 representa o campo magnético

no local das manchas escuras que se comportam como os pólos de uma barra de imã enterrada na superfície do Sol.

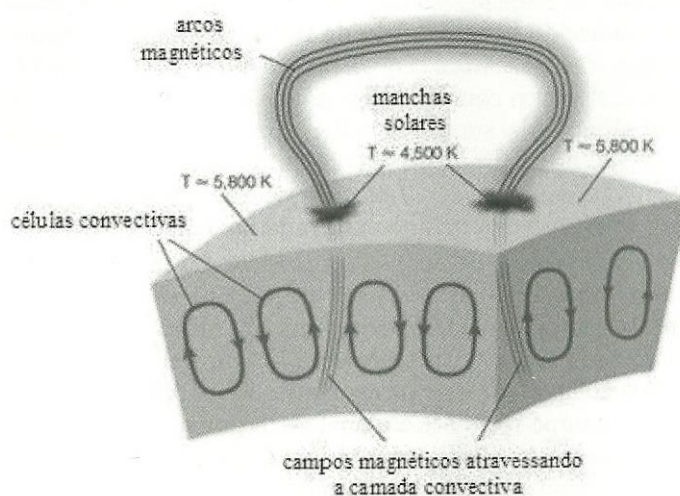


Figura 7.5. Figura ilustrativa dos arcos magnéticos que emanam da superfície solar (ou tubo de fluxo), tendo as manchas solares como ancoradouros.

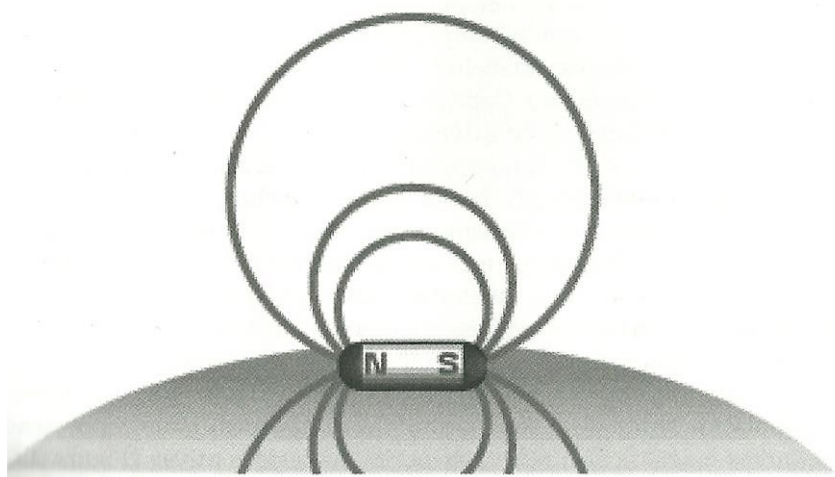


Figura 7.6. O campo magnético do arco, na parte externa à superfície, pode ser aproximado pelo de um pequeno dipolo paralelo e logo abaixo da superfície.

Com o passar do tempo, os campos magnéticos das manchas solares se desmancham, uma parte move-se para o equador e se cancela com o campo magnético de polaridade oposta vindo do outro hemisfério e a outra parte move-se para os pólos onde se conectam com o campo magnético do pólos solares. Estes cancelamentos de campos magnéticos fazem com que o campo magnético global se reconfigure, só que agora com polaridade magnética oposta à anterior. O tempo necessário para esta reversão do campo magnético de dipolo é de aproximadamente 11 anos.

Nos períodos em que o campo de dipolo se encontra mais organizado, aparecem poucas manchas solares na superfície do Sol. Mas à medida que o ciclo evolui, as linhas de campo magnético são arrastadas pela rotação diferencial e eventualmente fazem surgir manchas solares na superfície. Como as manchas possuem campo magnético mais intenso que o restante da superfície solar, este

campo magnético começa a predominar. Esta configuração é facilmente observada pelo aumento gradual do número de manchas solares, que coincidem com máximo de atividade solar. Em um período intermediário, o campo magnético do Sol é uma combinação de um campo de dipolo (figura 7.7) que inverte sua polaridade a cada 11 anos com um campo bem mais concentrado em arcos magnéticos que está associado às regiões ativas. Como são necessários, no total, 22 anos para o campo magnético de dipolo se restabelecer na configuração anterior, com a mesma polaridade, dizemos que o ciclo magnético solar tem duração de 22 anos.

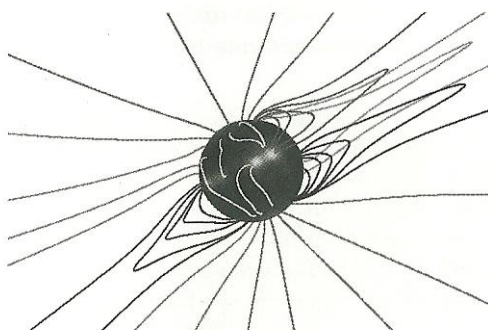


Figura 7.7: Ilustração das duas componentes do campo magnético solar: o de dipolo em larga escala e os arcos fechado próximos à região equatorial que conectam diferentes regiões ativas.

No Sol, os arcos magnéticos que conectam as manchas solares e alcançam a coroa são facilmente visualizados nas imagens ultravioleta ou raios X obtidas por satélites, como mostrado na figura 7.8. Nestas imagens, os arcos magnéticos são visíveis devido à emissão de íons do plasma superaquecido confinado pelas linhas de campo magnético na região da coroa. O local onde estes arcos cruzam a superfície solar corresponde às regiões escuras vistas em imagens no espectro visível do Sol, denominadas de manchas solares.

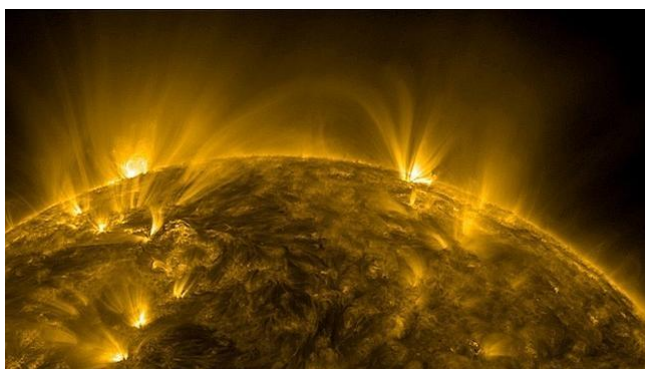


Figura 7.8: Arcos magnéticos iluminados pelo plasma quente da atmosfera solar. (<http://www.abc.es/Media/201510/13/sdo-three-year-celebration-06-130212--644x362.jpg>) (<http://i64.tinypic.com/120rps5.jpg>)

7.2 VENTO SOLAR

Além da radiação, que consiste de ondas eletromagnéticas, o Sol também emite constantemente um fluxo de partículas carregadas, o chamado vento solar. Este fluxo de partículas preenche o meio interplanetário inteiro e já foi detectado além da órbita de Plutão pela sonda Voyager 2. A fonte destas partículas é a coroa solar, onde as altas temperaturas geram uma pressão térmica maior do que a pressão gravitacional. Isto é, a velocidade térmica das partículas é maior do que a velocidade de escape do Sol. Neste caso, a gravidade solar não é mais capaz de “segurar” as partículas do plasma coronal que escapam para o meio interplanetário na forma de um “vento”. O vento solar é o responsável pela cauda de íons dos cometas (a mais azulada na figura 7.9) que sempre se encontra da direção radial oposta ao Sol.



Figura 7.9: Esta fotografia do cometa West foi tirada pelo astrônomo amador John Loberde em 9 de março de 1976. Duas caudas distintas podem ser observadas nesta imagem, a mais fina e azulada corresponde à cauda de plasma composta por gases, enquanto que a cauda mais larga e branca é constituída por partículas microscópicas de poeira.

8. AULA 8 E AULA 9

Aulas 8 e 9: (relações Terra-Sol). Nesta aula, é estudado como o Sol e sua atividade influenciam o ambiente na Terra. Como uma tempestade magnética pode afetar satélites e astronautas que estiverem em órbita da Terra e como se formam as auroras boreais e austrais.

8.1 RELAÇÕES SOL-TERRA

As relações solares-terrestres dizem respeito à influência do Sol e sua atividade no ambiente da Terra. A causa dominante desta influência é a injeção de partículas e radiação proveniente da atividade solar no espaço próximo à Terra. Esta área de estudo também é conhecida por “clima espacial”. A seguir veremos quais as principais consequências para o ambiente terrestre e para os equipamentos eletrônicos dos quais nossa sociedade é cada vez mais dependente. Serão discutidas desde as conhecidas auroras e tempestades geomagnéticas.

8.1.1 MAGNETOSFERA TERRESTRE

Assim como o Sol, a Terra também tem o seu campo magnético. Próximo à superfície da Terra este campo tem a forma de um dipolo, como se uma barra de imã gigantesca estivesse enterrada em seu interior. O eixo do dipolo magnético está ligeiramente inclinado com relação ao eixo de rotação da Terra, que define os pólos geográficos Norte e Sul, sendo o ângulo entre os eixos de 12 graus. Convencionou-se que as linhas de campo magnético saem do pólo norte magnético e entram no pólo sul magnético. Como foi definido que a agulha de uma bússola aponta aproximadamente para o pólo Norte geográfico, e como esta agulha aponta na direção das linhas do campo magnético, o pólo Sul magnético encontra-se perto do pólo Norte geográfico e vice-versa.

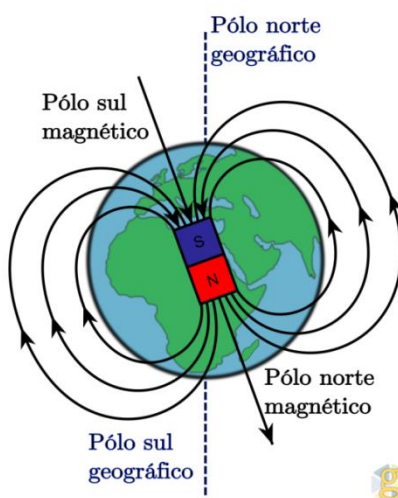


Figura 8.1. Posição do campo magnético terrestre em relação ao seu eixo de rotação (<http://galileo.netii.net/wp-content/uploads/2012/09/campo-magnetico-da-terra.png>).

Bem no centro da Terra, encontra-se um núcleo de ferro sólido de aproximadamente 1300 km (região b da figura 8.2), rodeado por uma camada de 2200 km de espessura composta por ferro e níquel derretidos, formando o núcleo externo (região c da figura 8.2). O campo magnético é criado pelo mecanismo de dínamo gerado por correntes elétricas neste núcleo líquido no interior da Terra. Estas correntes elétricas têm centenas de quilômetros de espessura e se movem a milhares de km/h à medida que a Terra gira. Se a Terra girasse mais rápido, seu campo magnético seria mais intenso e, se o núcleo líquido fosse maior, o campo magnético também seria maior.

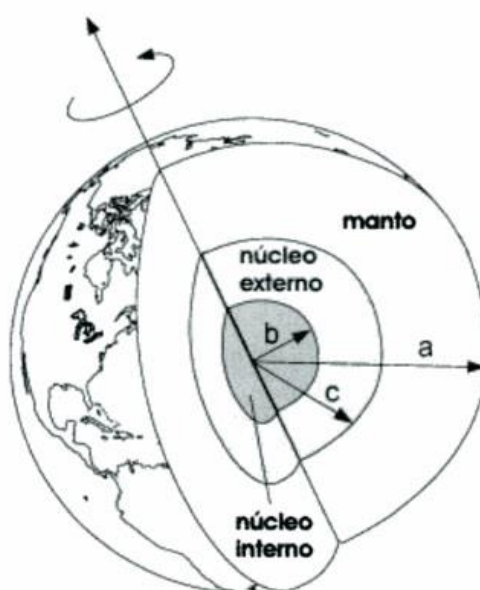


Figura 8.2. Estrutura interna da Terra com suas camadas: núcleo interno e externo e manto.

Da mesma maneira que a heliosfera, a magnetosfera terrestre define uma cavidade em torno da Terra onde predomina o campo magnético terrestre (figura 8.3). A magnetosfera serve também de blindagem para as partículas carregadas pelo vento solar que golpeiam permanentemente nosso planeta. A fronteira onde o vento solar encontra o campo magnético terrestre é chamada de magnetopausa. Do lado voltado para o Sol, na frente da magnetosfera, encontra-se uma frente de choque onde o vento solar encontra o campo magnético terrestre tal qual um obstáculo em uma correnteza. Neste lado, o lado diurno, a magnetosfera é comprimida, alcançando em média 10 raios terrestres (ponto subsolar). No lado oposto, o lado noturno, a magnetosfera se estende por mais de 100 raios terrestres formando a magnetocauda. Dependendo das condições do vento solar, o ponto subsolar pode diminuir ou aumentar. Em tempos de muita atividade solar, o vento solar comprime ainda mais a magnetosfera fazendo com que o ponto subsolar encolha para apenas 5 raios terrestres. Em tempos mais calmos este se estende e pode chegar a 20 raios terrestres.

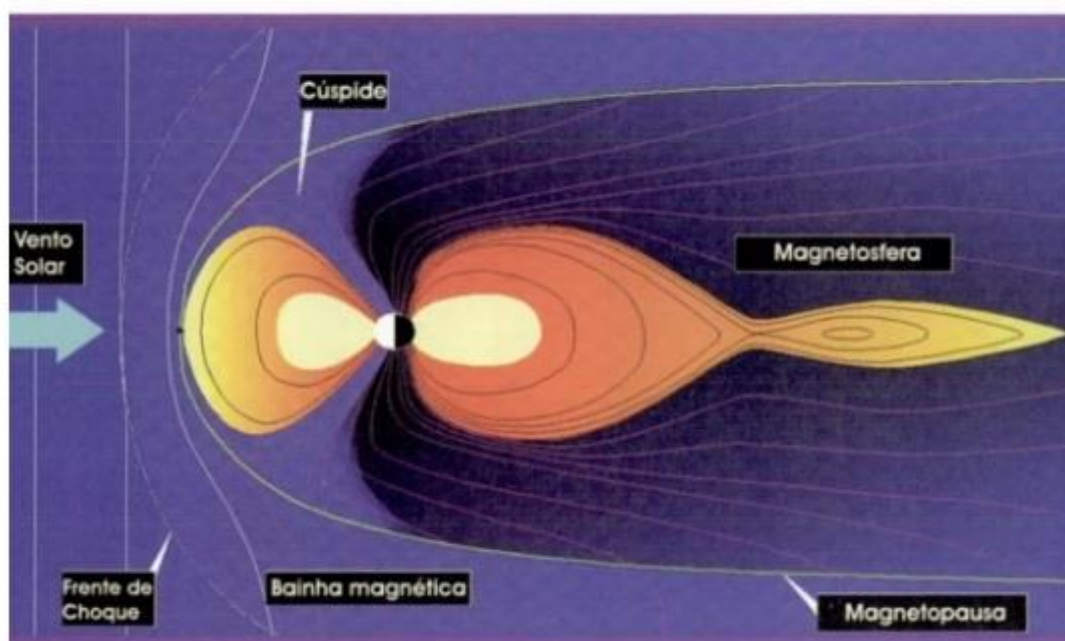


Figura 8.3. Magnetosfera terrestre envolvida pela magnetopausa e a frente de choque causada pelo vento solar.

Em 1958, um contador Geiger a bordo de um satélite detectou a presença de cinturões de partículas carregadas em uma região em forma de toróides, ou pneus. As partículas aprisionadas, principalmente prótons e elétrons, espiralam em torno das linhas de campo magnético ao redor da Terra, em um vai-e-vem constante entre os pólos sul e norte magnéticos. Na realidade, as partículas carregadas encontram-se em duas regiões, batizadas de cinturão de van Allen, uma mais intenso, que se encontra entre 500 e 13000 km (aproximadamente 2 raios terrestres), e outro cinturão mais externo, situado aproximadamente a 3,5 raios terrestres (figura 8.4). O cinturão interno é composto por próton que acredita-se serem raios cósmicos (na verdade partículas com altas velocidades, que foram historicamente chamadas de raios cósmicos) vindos de fora do Sistema Solar ou talvez oriundos do Sol e expelidos durante suas explosões. Elétrons de baixas energias também ocupam esta região mais interna. Já os elétrons de altas energia (10 a 100 vezes mais energéticos do que os elétrons mais internos) estão mais afastados, encontrando-se entre 3 a 6 raios terrestres. De qualquer maneira, as partículas dos cinturões de van Allen são bem mais energéticas do que as partículas comumente encontradas próximas a Terra.

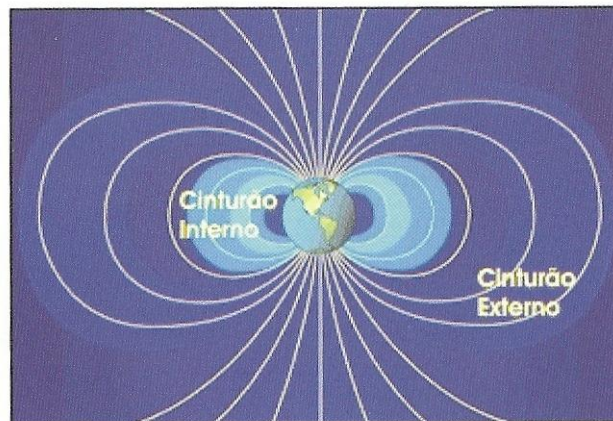


Figura 8.4. Cinturões de Van Allen. O cinturão interno é mostrado em azul claro enquanto que o mais externo está representado em azul mais escuro.

Assim como o campo magnético solar, o campo de dipolo da Terra também inverte seu sentido, porém em escalas de tempo muito mais longas e com uma periodicidade bem menos definida. A polaridade do campo magnético terrestre se inverte em média a cada 250 mil anos. Nos últimos 76 milhões de anos, ocorreram aproximadamente 170 reversões deste tipo. As evidências para comprovar este fato podem ser encontradas em registros geológicos no fundo dos oceanos. No centro do Oceano Atlântico, entre o continente Americano e a África e Europa, existe uma cadeia de vulcões submarinhos atravessando o globo de Norte a Sul. À medida que a rocha derretida (lava) esfria, materiais magnetizados contidos na rocha se solidificam, registrando a polaridade do campo magnético da Terra correspondente à época de sua solidificação. Como as duas placas (América e África) estão se afastando uma da outra, com o passar dos anos essa movimentação tectônica das placas faz com que o fundo do oceano fique marcado por faixas cujas rochas possuem polaridade magnética em um sentido determinado. Essas faixas se encontram separadas por faixas com polaridade oposta (figura 8.5). Suponho que a velocidade de afastamento dos continentes tenha se mantido constante ao longo destes últimos milhões de anos, podemos estimar a idade de cada banda e a linha divisória entre as placas (onde a cadeia de vulcões se encontra) pela velocidade com que as placas têm se afastado.

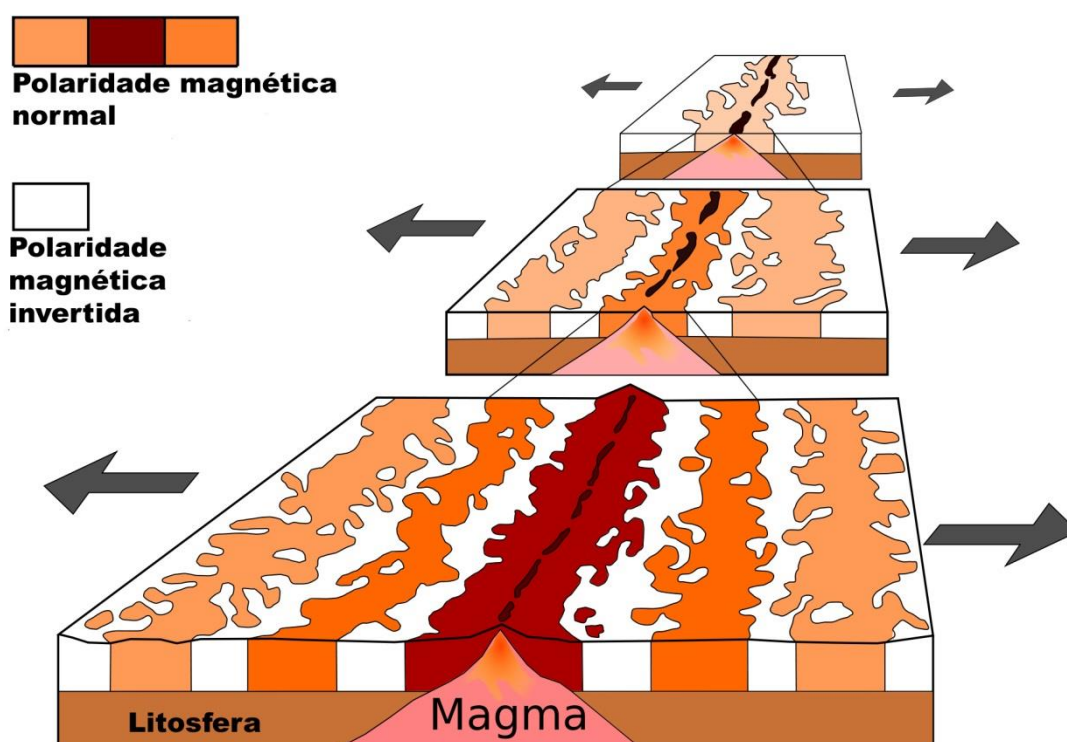


Figura 8.5. Representação do fundo do oceano Atlântico cujas placas estão se afastando uma da outra. As faixas brancas representam rochas com polaridade magnética oposta à das coloridas em tons de laranja. As cores mais claras correspondem às rochas mais antigas (<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7e/Oceanic.Stripe.Magnetic.Anomalies.Scheme.svg/2000px-Oceanic.Stripe.Magnetic.Anomalies.Scheme.svg.png>).

Os pólos magnéticos terrestres não são fixos: eles se movem ao longo dos anos até se reverterem completamente em escalas de tempo de alguns milhares de anos, relativamente rápidas em relação à duração do ciclo magnético terrestre. O pólo magnético no hemisfério Norte, atualmente no Ártico Canadense, tem se movido para o norte com uma velocidade de aproximadamente 10 km/ano. Em um mesmo dia o pólo perambula por várias dezenas de metros devido a mudanças nas correntes elétricas no interior da Terra, assim como as correntes na ionosfera afetadas pela atividade solar.

8.1.2 IONOSFERA TERRESTRE E COMUNICAÇÕES DE LONGA DISTÂNCIA

A camada mais externa da nossa atmosfera é a ionosfera, cuja extremidade inferior se encontra por volta de 80 km (figura 8.6). Sua principal característica é ser composta por partículas carregadas, diferentemente do resto da atmosfera que é constituída por átomos e moléculas neutros. A ionosfera é formada a partir da ionização dos constituintes atmosféricos causada pela radiação ultravioleta do Sol.



Figura 8.6. Camadas da atmosfera terrestre em função da altitude em quilômetros. Os aviões voam através da troposfera, já os balões alcançam a estratosfera, as auroras ocorrem na ionosfera, enquanto que os satélites encontram-se na exosfera a mais de 600 km de altitude (<http://www.coladaweb.com/wp-content/uploads/2014/12/20160514-camadas-atmosfera.png>).

Tanto a pressão quanto a temperatura da atmosfera terrestre decaem com a altitude. Porém, a radiação X e ultravioleta do Sol esquentam as camadas mais externas da atmosfera terrestre, revertendo a queda de temperatura em altitudes elevadas. No topo da ionosfera, são alcançadas temperaturas até mesmo mais altas (80 °C) do que na superfície da Terra (15 °C).

O fato da ionosfera ser composta por partículas eletricamente carregadas faz com que estas interajam com qualquer radiação eletromagnética, seja ela proveniente do espaço ou da Terra, refletindo-a tal qual um espelho. As ondas eletromagnéticas são refletidas até uma frequência máxima que depende da densidade de elétrons na ionosfera.

Esta propriedade da ionosfera de refletir ondas de rádio de uma dada frequência é bastante útil, sendo utilizada para comunicação de longa distância.

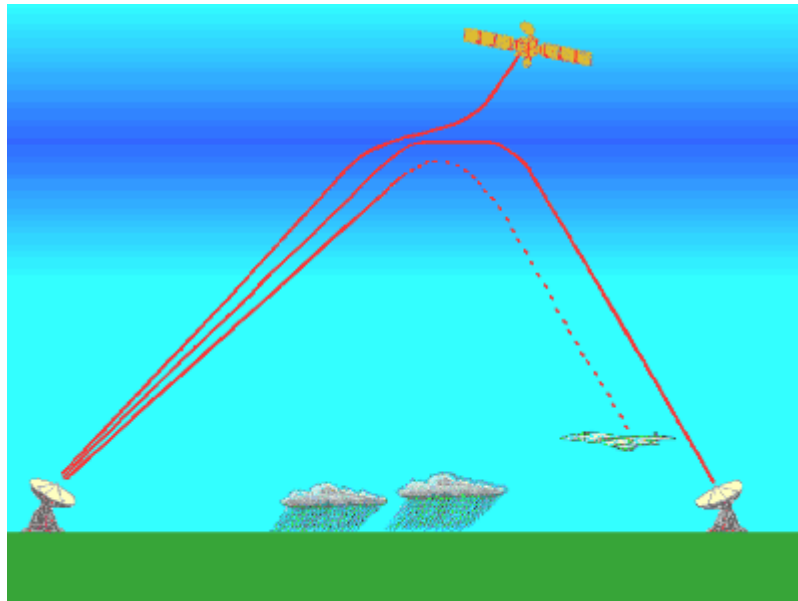


Figura 8.7. Ilustração mostrando a reflexão de ondas de rádio pelas diferentes camadas da ionosfera, em função do comprimento de onda (<http://trad.fis.unb.br/plasmas/ionjett.gif>).

Como a densidade da atmosfera diminui com a altura, a ionosfera é dividida em diferentes camadas dependendo da sua altura, denominadas D, E e F (figura 8.8). A camada mais baixa D, estende-se até 90 km e reflete as ondas de frequência mais baixa, entre 0,003 e 0,3 MHz (ou comprimentos de onda de 1000 a 100000 m). Entre 95 e 150 km, os elétrons da camada E refletem ondas de rádio de frequências entre 0,3 e 3 MHz, enquanto que a camada mais externa, F, em média a 250 km de altura, reflete ondas com frequência entre 3 e 30 MHz (comprimentos de onda de 10 a 100 m).

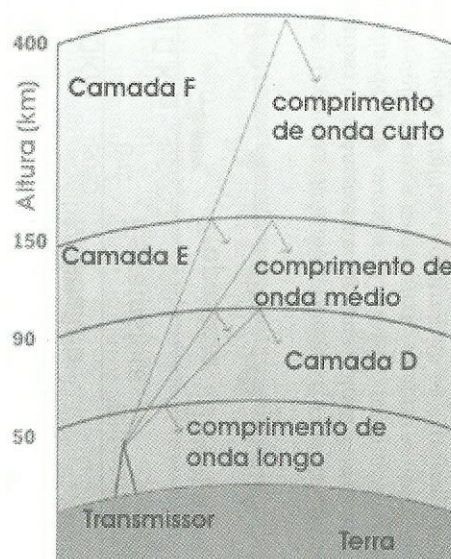


Figura 8.8. Ilustração mostrando a reflexão de ondas de rádio pelas diferentes camadas da ionosfera, em função do comprimento de onda.

Como a ionosfera depende do fluxo ionizante de raios ultravioleta do Sol, sua densidade e localização variam entre o dia e a noite (figura 8.9). Durante períodos de alta atividade solar, como explosões solares, o fluxo de radiação ultravioleta também aumenta a temperatura da ionosfera. Além disso, algumas partículas carregadas de explosões ou ejeções de massa coronal conseguem penetrar na magnetosfera pelas regiões polares, aumentando a densidade de elétrons da ionosfera. A variação da densidade eletrônica da ionosfera vai alterar a altura onde uma onda de rádio de comunicação terrestre será refletida, impedindo sua detecção na estação de destino e, assim, interrompendo temporariamente a comunicação. Durante o ciclo de atividade de 11 anos, a temperatura da alta atmosfera varia por um fator de 2 e a densidade de elétrons por um fator de 10.

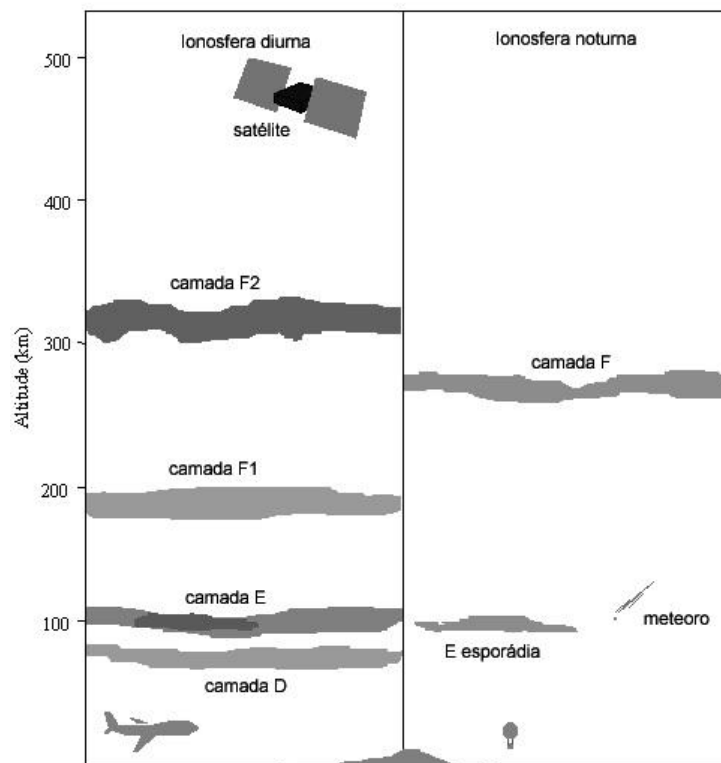


Figura 8.9. Ilustração da variação das camadas da ionosfera dependendo do fluxo solar, durante o dia e a noite (<http://www.sarmento.eng.br/Figuras/img001.gif>).

8.1.3 TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS

Uma tempestade magnética é um fenômeno durante o qual o campo magnético terrestre apresenta variações rápidas em escalas globais. Redes de magnetômetros, instrumentos que monitoram o campo magnético terrestre espalhados por todo o globo, mostram que as tempestades magnéticas são praticamente idênticas, consistindo de um aumento abrupto do campo magnético durante 12 a 24 horas seguido por recuperação gradual que pode durar de 1 a 4 dias (ver exemplo figura 8.10). O campo magnético terrestre, que é da ordem de 30000 a 60000 nT (1 nanoTesla = 10^{-9} T) sofre variações de 50 a mais de 500 nT durante as tempestades.

Dependendo da duração e extensão espacial do distúrbio, este pode ser classificado como tempestade ou subtempestade. As subtempestades magnetosféricas são bem mais frequentes. Elas têm uma duração de 1 a 3 horas, estão associadas com auroras boreais e/ou austrais e ocorrem normalmente em regiões de altas latitudes. Já as tempestades magnéticas apresentam perturbações fortes no campo magnético e sua duração pode chegar a dias. A frequência de ocorrência de tempestades é inversamente proporcional a sua magnitude. A magnitude das tempestades é medida pela componente do campo magnético na direção Norte-Sul, B_{NS} . As menores tempestades, com variações de B_{NS} entre 50 e 150 nT, acontecem uma vez por mês. Já as intermediárias, com B_{NS} entre 150 e 300 nT, são detectadas várias vezes ao ano, enquanto que as mais intensas, com B_{NS} maior que 500 nT, ocorrem apenas algumas vezes durante o ciclo de atividade solar de 11 anos.

O gráfico da (figura 8.10) representa uma tempestade magnética ocorrida no início de novembro de 2001. Neste gráfico é mostrado o componente Norte-Sul do campo magnético terrestre em regiões de latitudes intermediárias. Conforme pode ser visto neste gráfico, uma tempestade magnética pode ser facilmente identificada pela variação repentina do componente Norte-Sul do campo magnético, apontando predominantemente para o Sul. A tempestade tem início com um aumento do componente do campo magnético Norte-Sul, indicado pela seta na (figura 8.10), seguido de um decréscimo abrupto e com uma lenta recuperação posterior que pode durar dias. O aumento da intensidade do campo magnético na fase inicial da tempestade é atribuído à compressão da magnetosfera pelo vento solar, ao passo que a diminuição de B_{NS} é devida às correntes elétricas geradas na ionosfera que, por sua vez, criam um campo magnético voltado para o Sul, isto é, com direção oposta à do campo terrestre.

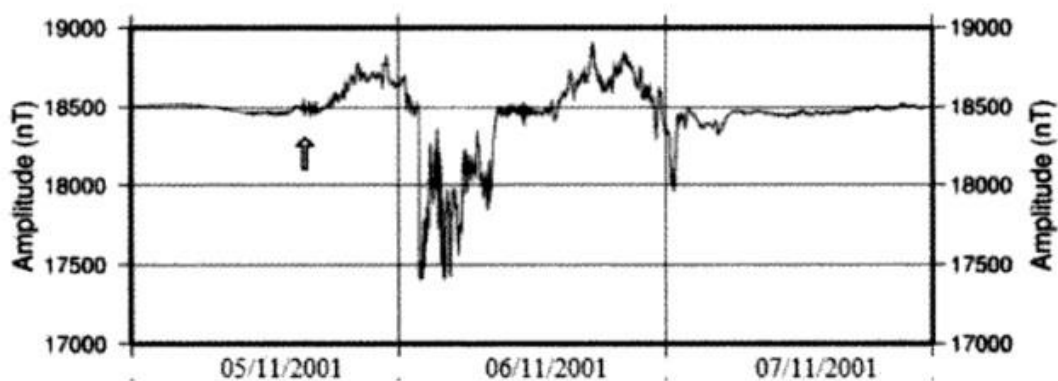


Figura 8.10. Variação da amplitude da componente Norte-Sul do campo magnético durante uma tempestade magnética que ocorreu no dia 6 de novembro de 2001.

As tempestades são causadas por dois fatores: ejeções de massa coronal do tipo halo e interação entre correntes do vento solar com diferentes velocidades. Acredita-se que as tempestades magnéticas mais intensas são criadas por ejeções de massa coronal rápidas que produzem distúrbios no vento solar, ao menos durante períodos de máxima atividade. As tempestades usualmente ocorrem entre 1 a 4 dias após a matéria ser ejetada do Sol. A (figura 8.11) mostra uma bolha de plasma com campos magnéticos (a ejeção de massa) trafegando pelo meio interplanetário. Quando a direção do campo magnético da ejeção (representada pelas setas) aponta na direção Sul, a probabilidade deste evento ser geofetivo – isto é, gerar um distúrbio magnético na Terra – é alta, pois este campo magnético provavelmente irá se reconectar com o campo da magnetosfera terrestre que aponta na direção Norte.

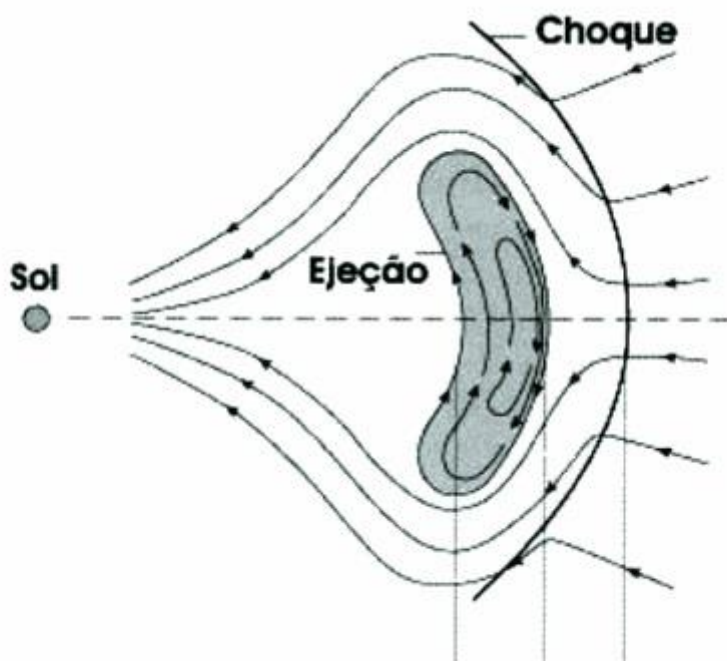


Figura 8.11. Representação de uma ejeção de massa coronal propagando-se no meio interplanetário. As linhas com setas representam a direção do campo magnético solar no meio interplanetário e o campo que está sendo arrastado pela ejeção. Um choque também é formado à frente da ejeção.

A figura 8.12 confirma claramente a associação entre tempestades magnéticas intensas (em vermelho) e o ciclo de atividade solar representado pelo número de manchas solares (em amarelo).

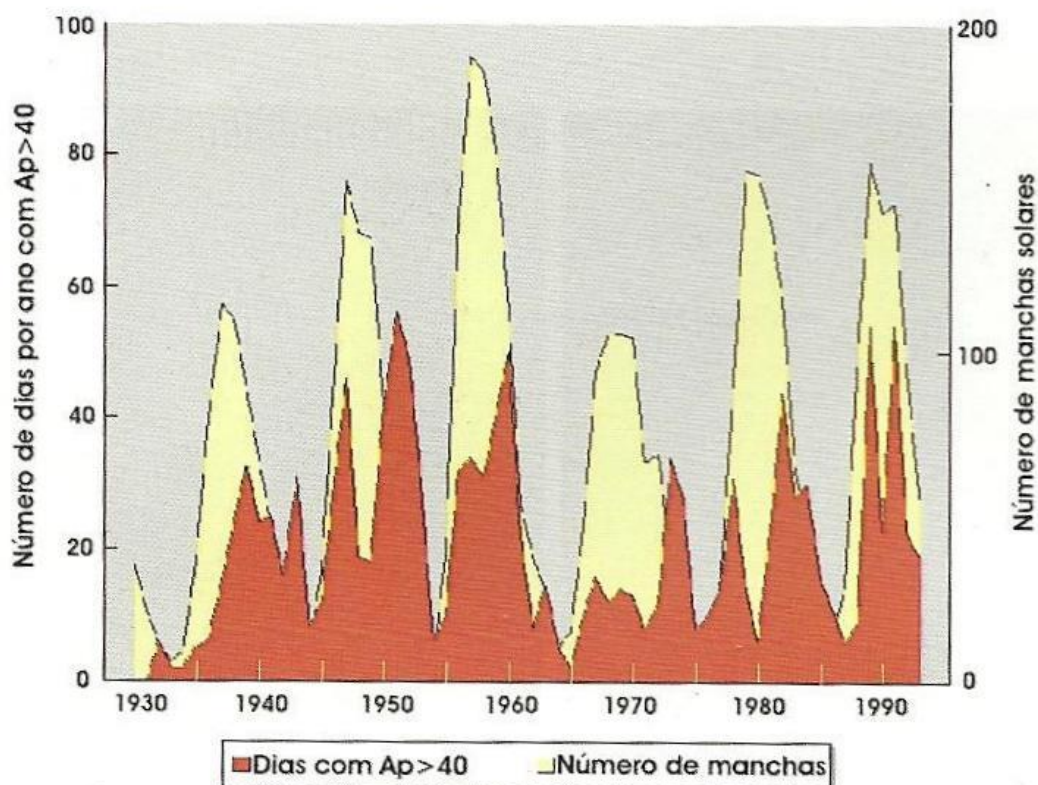


Figura 8.12. Correlação entre o número de ocorrências de tempestades magnéticas (vermelho) e o número de manchas no Sol (amarelo).

As subtempestades, por outro lado, apresentam uma periodicidade de aproximadamente 27 dias, diferentemente das tempestades causadas por ejeção de massa que são esporádicas. Este período corresponde à rotação solar próxima ao equador e a correlação é explicada da seguinte maneira: o Sol possui regiões onde a densidade de matéria coronal é menor, regiões estas que são chamadas de buracos coronais e que podem ser encontrados próximos a região do equador. Desses buracos coronais emana principalmente o vento solar rápido, com velocidades de 800 km/s. Quando correntes de vento mais rápido encontram o vento solar normal das regiões de baixa latitude solar com 400 km/s, choques são produzidos (figura 8.11). Ao interceptarem a Terra, estes choques são os responsáveis pelas subtempestades.

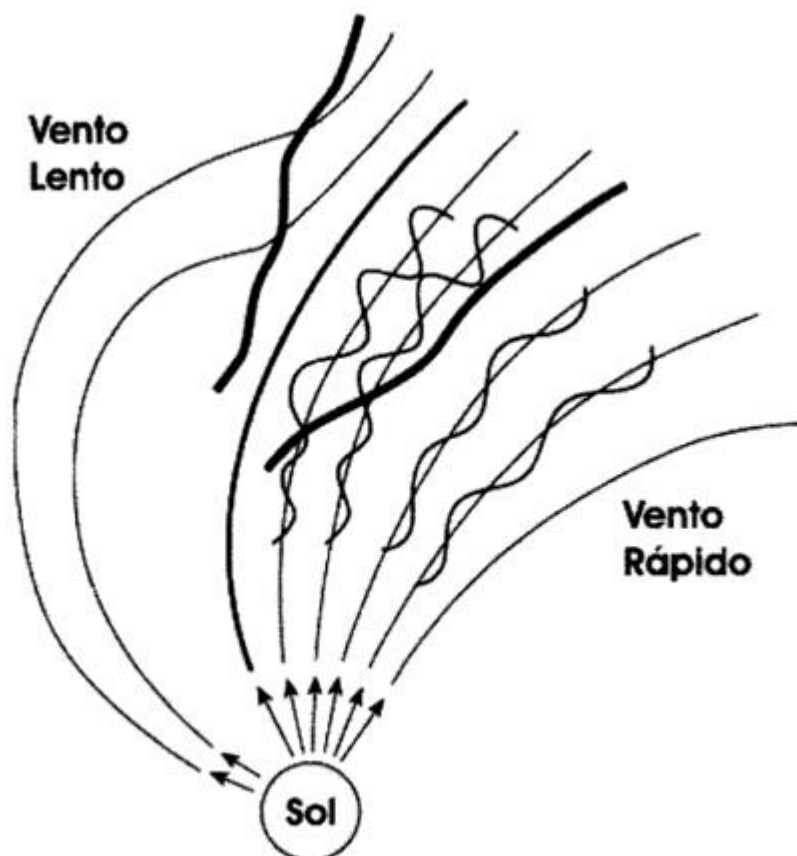


Figura 8.13. Interação entre os feixes rápidos e lentos do vento solar.

8.1.4 SATÉLITES E ASTRONAUTAS EM ÓRBITA

Graças à magnetosfera e atmosfera terrestre, que agem como um escudo, estamos protegidos no solo dos perigos da atividade solar, a saber, radiação e partículas energéticas que podem ser letais. A magnetosfera desvia a maior parte das partículas carregadas, enquanto que a atmosfera absorve a radiação ultravioleta e raio-X e também as partículas neutras energéticas, impedindo-as de atingir o solo. No entanto, astronautas estão sujeitos a desenvolver catarata, câncer de pele, ou até mesmo a receber uma dose fatal de radiação se tiverem o azar de estarem em passeios fora da estação espacial ou de suas naves durante uma explosão solar. Em 1972, astronautas da Apollo escaparam por pouco de serem atingidos pela radiação de uma explosão solar, a qual leva apenas 8 minutos para chegar do Sol à Lua ou a Terra. A dose de radiação decorrente de uma explosão tampouco é desprezível para tripulantes e passageiros de aeronaves que voam em altas altitudes.

Atualmente nossa sociedade, cada vez mais dependente da tecnologia espacial, é diretamente afetada pela atividade solar. Satélites são usados para comunicação, navegação aérea e marinha, telefonia, transações financeiras, previsão do tempo, entre outros. As partículas das ejeções de massa coronal podem danificar os painéis solares de satélites e interferir na eletrônica destes. As partículas oriundas de ejeções também causam um aumento da densidade de partículas no meio interplanetário próximo da Terra. Este aumento de partículas gera um atrito

que freia o satélite, podendo alterar sua órbita ou até mesmo fazer com que caia na Terra prematuramente, caso a perda de energia seja considerável.

Partículas energéticas, que conseguem penetrar na atmosfera terrestre pelas regiões polares, alteram a ionosfera causando interrupções nos sinais de satélites. As comunicações rádio de longa distância também são afetadas devido à alteração da densidade de partículas carregadas, que faz com que a altura na qual a onda de rádio é normalmente refletida seja modificada, conforme mencionado anteriormente. Fortes correntes elétricas em linhas de transmissão de energia elétrica também podem ser criadas quando a Terra é bombardeada pela atividade solar. Do mesmo modo, transformadores usados no fornecimento de energia elétrica ficam superaquecidos devido às altas correntes induzidas, podendo vir até a derreter. Em casos extremos, isso pode gerar “apagões” em cidades inteiras, como ocorreu em Montreal (Canadá) em março de 1989, onde o fornecimento de energia elétrica foi interrompido durante 9 horas. As tempestades magnéticas, ao alterar o campo magnético da Terra, também são responsáveis por distúrbios em sistemas de navegação que se orientam pelo campo magnético terrestre.

Por todos os problemas apresentados acima, é de grande interesse para a sociedade que sejamos capazes de prever quando ocorrerão as ejeções de massa coronal. Principalmente quais destas irão afetar diretamente a Terra e quando isto ocorrerá. A previsão é fundamental para que precauções sejam tomadas a fim de minimizar os danos como, por exemplo, suspensão temporária no funcionamento de satélites. A radiação das explosões solares intensas chegam à Terra em apenas 8 minutos. Já as partículas energéticas criadas pelas explosões chegam em uma hora ou menos, enquanto que a matéria de ejeções (elétrons e prótons) e os campos magnéticos associados nos atingem em questão de 1 a 4 dias.

8.1.5 A CAMADA DE OZÔNIO

A radiação ultravioleta do Sol é responsável por produzir ozônio e também por destruí-lo. A camada de ozônio, situada a 25 km acima da superfície da Terra, é de fundamental importância justamente por absorver esta radiação UV que é perigosa para a vida podendo causar catarata, mutações genéticas e câncer de pele. Quando uma radiação UV de 242 nm de comprimento atinge moléculas de O_2 , abundantes na nossa atmosfera, as moléculas são dissociadas em dois átomos de oxigênio. Um destes átomos de oxigênio pode ser recombinar com outra molécula de O_2 dando origem ao ozônio, O_3 .

Como o fluxo solar de radiação ultravioleta solar varia como o ciclo de atividade de 11 anos, aumentando em períodos de máxima atividade solar, do mesmo modo a quantidade global de ozônio é elevada de 1 a 2% durante o máximo do ciclo. Este valor é comparável à diminuição de O_3 devido à ação humana, pela produção de CFCs (clorofluorcarbonos). O impacto das variações da radiação solar sobre a camada de ozônio depende da posição geográfica e da altitude. A figura 8.14 indica a localização do buraco na camada de ozônio, localizado sobre a Antártica.

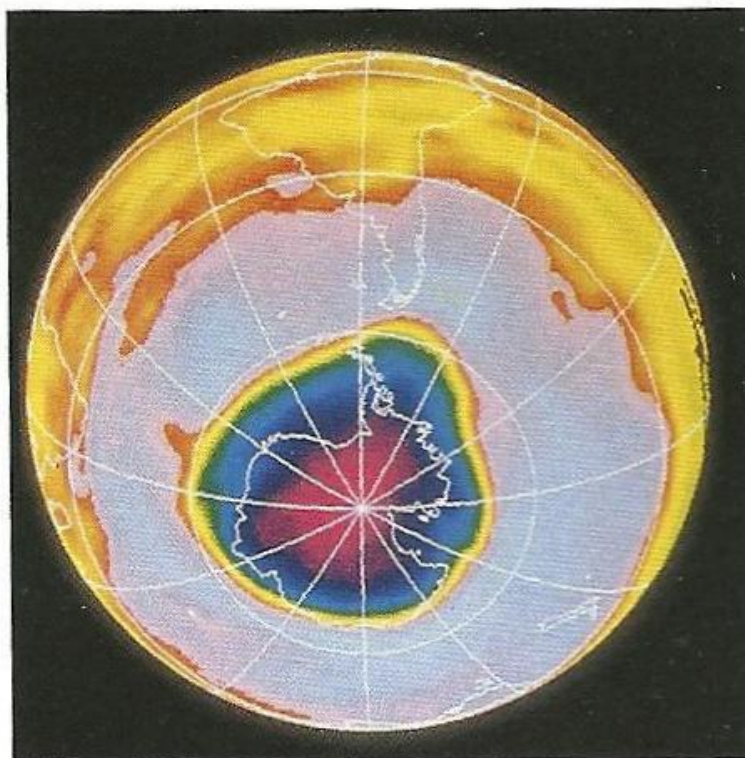


Figura 8.14. Concentração da quantidade de ozônio na atmosfera terrestre. As cores são artificiais, sendo que o rosa indica baixas concentrações identificando o buraco na camada de ozônio localizado sobre a Antártica.

8.1.6 AURORAS AUSTRAIS E AURORAS BOREAIS

Algumas das partículas eletricamente carregadas de ejeções de massa conseguem invadir a magnetosfera, espiralando em torno das linhas de campo magnético e finalmente penetrando na atmosfera pelas regiões polares. Estes elétrons solares energéticos colidem com átomos de oxigênio e nitrogênio existentes na atmosfera a 150 km de altura. O oxigênio e nitrogênios, então excitados, irão decair posteriormente, emitindo luz. A radiação verde e vermelha é produzida pelo oxigênio, enquanto que o nitrogênio emite luz rósea ou azul, dependendo do estado de ionização. O resultado é um espetáculo visual que se parece com cortinas de luzes coloridas ondulando ao vento (figuras 8.15 e 8.16). Este espetáculo, exclusivo de regiões de altas latitudes, é conhecido como “aurora”; no hemisfério Sul são chamadas de auroras austrais enquanto que, no Norte, são chamadas de auroras boreais.



Figura 8.15. Aurora observada em Talkeetna, Alaska, em 03 de novembro de 2015. (<https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/aurora2.jpg>).



Figura 8.16. Aurora observada em Tromsø , Noruega, em 09 de janeiro de 2014. (https://www.nasa.gov/sites/default/files/styles/full_width_feature/public/harald-albrigtsen-20140109_1.jpg?itok=eaxhpV-z).

Vistas do espaço, as auroras formam um círculo em torno das regiões polares, como mostra a figura 8.17 e 8.18. As auroras são muito mais frequentes e espetaculares em período de máxima atividade solar. Em raras ocasiões de ejeções solares gigantescas podem ser observadas até uma latitude de 40°, como a Flórida ou Califórnia, nos Estados Unidos.

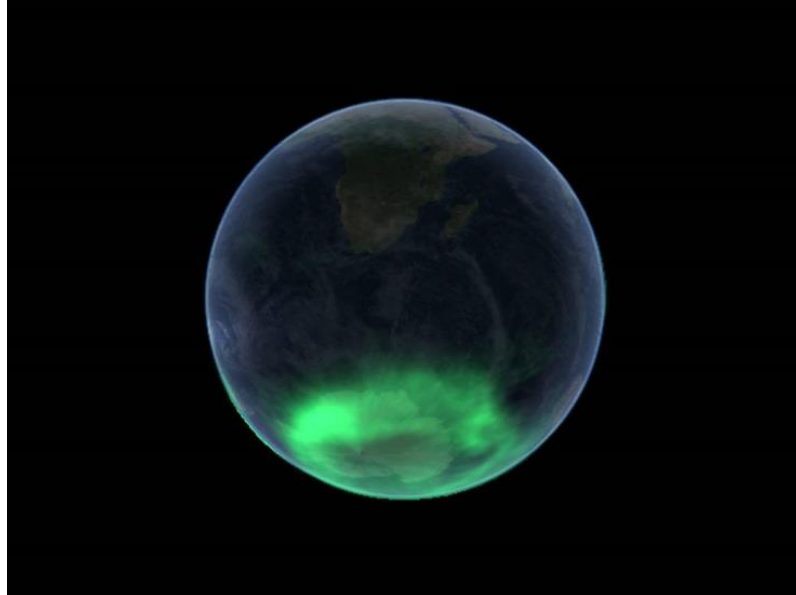


Figura 8.17. Aurora formando um círculo em torno da região polar. (https://www.nasa.gov/sites/default/files/styles/full_width_feature/public/thumbnails/image/700590main_20050107-image-orig_full.jpg?itok=O7S5nGro)

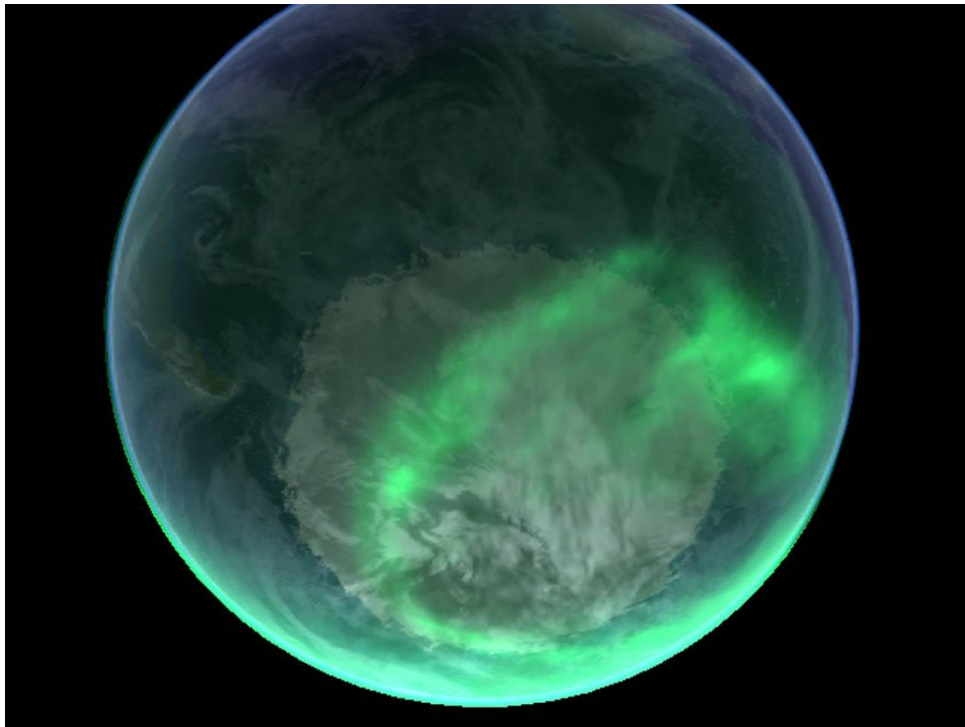


Figura 5.18. Aurora formando um círculo em torno da região polar. (https://www.nasa.gov/sites/default/files/styles/full_width_feature/public/thumbnails/image/63594main_image_aurora.jpg?itok=N3nnOrzJ).

9. AULA 10

Aula 10: (aplicação do pós-teste e observação do Sol). Nesta última aula é aplicado o pós-teste, o mesmo que foi aplicado na segunda aula, assim é possível obter dados para analisar se houve uma aprendizagem. Para finalizar é feita a observação do Sol com um telescópio e filtros de carbono 14.

REFERÊNCIAS

CATELLI, F.; PEZZINI, S.. **Observando espectros luminosos – espectroscópio portátil**. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 21, n. 02, p.339-344, ago, 2004. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/10023/14560>> . Acesso em: 15 fev. 2016.

Entenda como os cientistas sabem a composição química dos planetas e estrelas. Disponível em: <<http://www.apolo11.com/espectro.php>> Acesso em 4 de maio de 2016.

Radiação eletromagnética. Disponível em: <<http://www.astro.iag.usp.br/~jane/aga215/apostila/cap04.pdf>> Acesso em 18 de fevereiro de 2016.

SILVA, V. R. Adriana. **Nossa estrela: o Sol**. 1.ed. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2006.

ANEXO

ANEXO A

Valores críticos da razão *t* de Student

g.1.	ns=0,10	ns=0,05	ns=0,01
1	6,31	12,71	63,66
2	2,92	4,3	9,92
3	2,35	3,18	5,84
4	2,13	2,78	4,60
5	2,02	2,57	4,03
6	1,94	2,45	3,71
7	1,89	2,36	3,50
8	1,86	2,31	3,36
9	1,83	2,26	3,25
10	1,81	2,23	3,17
11	1,80	2,20	3,11
12	1,78	2,18	3,05
13	1,77	2,16	3,01
14	1,76	2,14	2,98
15	1,75	2,13	2,95
16	1,75	2,12	2,92
17	1,74	2,11	2,90
18	1,73	2,10	2,88
19	1,73	2,09	2,86
20	1,72	2,09	2,85
21	1,72	2,08	2,83
22	1,72	2,07	2,82
23	1,71	2,07	2,81
24	1,71	2,06	2,80
25	1,71	2,06	2,79
26	1,71	2,06	2,78
27	1,70	2,05	2,77
28	1,70	2,05	2,76
29	1,70	2,05	2,76
30	1,70	2,04	2,75
35	1,69	2,03	2,72
40	1,68	2,02	2,70
50	1,68	2,01	2,68
60	1,67	2,00	2,66
70	1,67	1,99	2,65
100	1,66	1,98	2,63
∞	1,65	1,96	2,58

Fonte: http://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Comparacoes_em_media.pdf