



Como determinar a altura das crateras lunares em uma atividade de aprendizagem investigativa

How to determine the height of the lunar craters in an investigative learning activity

M. A. Silva¹; W. P. de Carvalho Neto¹; S. Scarano Jr^{1*}

¹*Departamento de Física da Universidade Federal de Sergipe, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Polo 11, 49100-000, São Cristóvão-SE, Brasil*

*scaranojr@ufs.br

(Recebido em 30 de novembro de 2021; aceito em 02 de julho de 2022)

Propomos neste trabalho uma atividade interdisciplinar de aprendizagem combinando procedimentos de ensino investigativo, técnicas de medição e aplicação do método científico baseados na situação problema de como medir a altura das crateras da Lua utilizando suas sombras. Tomando a Astronomia como elemento motivador, introduzimos um procedimento por meio do software profissional DS9 e bases de imageamento como a do *Lunar Reconnaissance Orbiter* e o *Moon Atlas 3D* para realizar a medida das sombras das crateras lunares. Apresentamos um modelo trigonométrico simplificado para representar os efeitos de projeção dos raios solares sobre a superfície lunar e o aplicamos para as crateras Triesnecker, Arzachel e Autolycus. Com isso obtivemos estimativas para as alturas das crateras com erros percentuais inferiores a 25% dos valores reais, e envolvendo diversos conceitos interdisciplinares relacionando a Matemática, Geografia, Física e Astronomia.

Palavras-chave: Astronomia, ensino por investigação, crateras da Lua.

In this work, we propose an interdisciplinary learning activity combining procedures on inquiry-based learning, techniques of scientific measurement and application of the scientific method based on the problem-based learning of how to measure the height of the Moon's craters using their shadows. Taking Astronomy as a teaser, we introduced a procedure using the professional DS9 software and image repositories such as that from the *Lunar Reconnaissance Orbiter* and the *Moon Atlas 3D* to measure the lunar shadows. We present a simplified trigonometric model to represent the projection effects of the sun's rays on the lunar surface and we apply it to Triesnecker, Arzachel and Autolycus craters. We obtained estimates for their heights with errors below 25% of the real values in an activity involving several interdisciplinary concepts relating to Mathematics, Geography, Physics and Astronomy.

Keywords: Astronomy, teaching by investigation, moon's craters.

1. INTRODUÇÃO

O impacto de corpos no espaço é algo tão comum e rotineiro em Astronomia, quanto nosso hábito de olhar para a Lua. Inclusive, no que se refere à Lua, um destes impactos pode ter sido responsável pelo surgimento da própria Lua, já que a teoria mais aceita sobre sua formação é a de que ela surgiu a partir de uma colisão entre a Terra e um planetóide logo no início da formação do Sistema Solar [1]. Esta teoria afirma que, após o impacto, cerca de 10% da massa da Terra, ou aproximadamente o tamanho de Marte, tenha sido desprendida, mesclada com a matéria do astro, entrado em órbita em torno da Terra e se condensado. Isto explica o porquê da Lua possuir muitas características químicas e cronológicas semelhantes às da crosta e do manto da Terra [2-4].

Acredita-se que o aspecto superficial da Lua hoje se deva a inúmeros impactos de meteoróides e atividades vulcânicas ao longo de milhões de anos. Até o início do século XX, não se sabia qual seria a real formação das crateras: ou atividades vulcânicas, ou impactos desses meteoróides [5-7].

O Geólogo Grove Gilbert (2013) [6] sugeriu que muitas delas foram causadas por pequenos corpos celestes que também orbitavam a Terra, tendo baixas velocidades em relação à Lua e,

portanto, podendo atingir sua superfície quase que verticalmente, justificando predominantemente os formatos circulares das crateras (Figura 1). Depois da Primeira Guerra Mundial, após a detonação de várias bombas, os cientistas notaram que crateras são formadas através de ondas de choque provenientes do impacto ou de uma explosão, e que impactos não verticais também podem gerar crateras circulares [8]. Cálculos mostraram que a onda de choque produzida após a colisão de um meteoróide de 1 km na Lua, a uma velocidade de 30 km/s (típica para objetos no Sistema Solar) poderia produzir uma cratera com 100 km de diâmetro [9, 10].

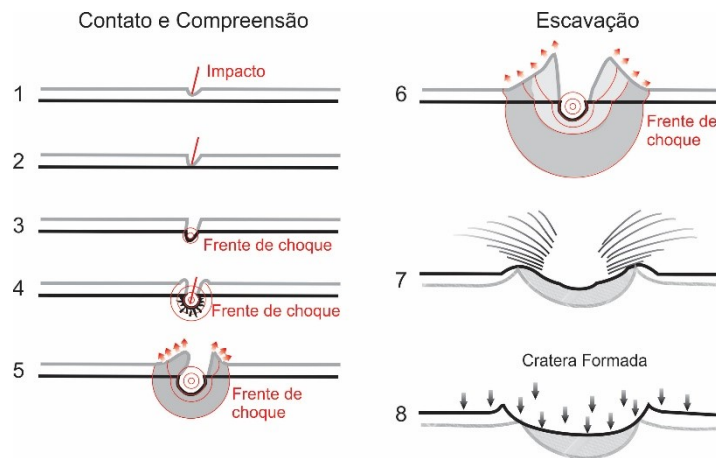


Figura 1: Etapas de formação de uma cratera com consequência de uma frente e choque de rebote ao impacto. (Adaptado de um esquema feito pelo geólogo e astrônomo Shoemaker [7, 9]).

Realmente há evidências de que ocorreu atividade vulcânica na Lua, tanto que existem canais, manchas e rochas sedimentares características de atividades vulcânicas [11-13]. Contudo, as crateras lunares possuem uma formação predominantemente ligada a impactos com meteoróides [14].

Estudar crateras lunares pode nos revelar mais informações sobre a formação da Lua e sobre uma época da formação do Sistema Solar, quando impactos com asteroides eram mais comuns [15]. O tamanho, a massa, a velocidade, a composição e o ângulo do objeto em queda, determinam o tamanho, a forma e a complexidade da cratera resultante [16]. Objetos lentos e pequenos produzem impactos de baixa energia e criam pequenas crateras simples (Figura 2). Objetos grandes e rápidos liberam muita energia e formam grandes crateras complexas (Figura 3).

Crateras de impacto simples têm depressões em forma de tigela e, na maioria dos casos, com paredes lisas. Este tipo de cratera, geralmente tem sua profundidade cerca de 20% do seu diâmetro [17].

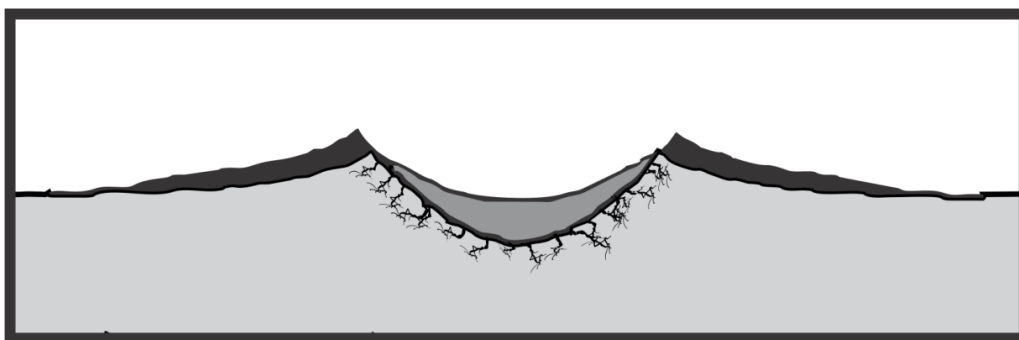


Figura 2: Esquema de uma cratera de impacto simples.

Geralmente, crateras lunares com diâmetro acima de 20 km, têm formas mais complexas (Figura 3), apresentando piso raso, liso e plano, feito de lava solidificada, montanha ou elevação central (com um ou mais picos, ou elevação em forma de anel) e paredes das bordas internas formadas por curvas de nível ou degraus (*terraces*), podendo ou não apresentar pequenas crateras secundárias nos seus arredores, criadas pelos materiais ejetados por seu impacto [17].

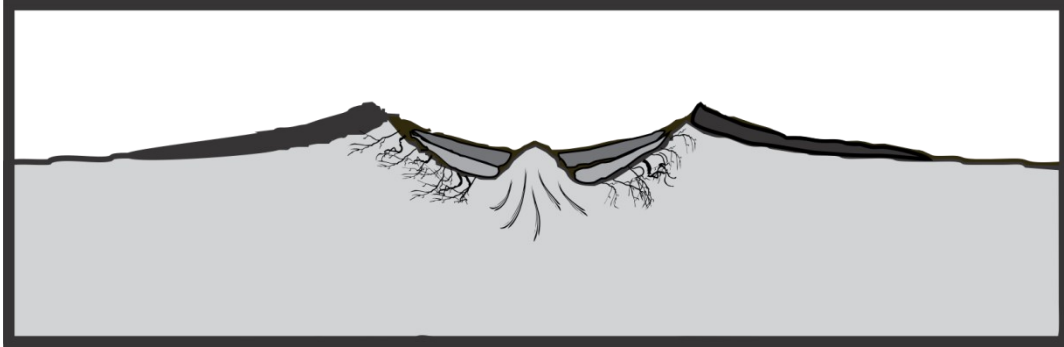


Figura 3: Esquema de uma cratera de impacto complexa.

Em 2009, a NASA lançou uma espaçonave robótica para coletar informações da Lua, um projeto chamado de *LRO (Lunar Reconnaissance Orbiter)* [18], cujo objetivo é coletar informações sobre a Lua e de sua poeira lançada ao espaço.

Estudar e monitorar a queda de meteoroides na Lua permite descobrir novas evidências sobre a sua formação, através da análise da poeira liberada no impacto e estruturas selenológicas mais profundas da Lua. Por um lado, tem a importância de traçar os impactos, monitorar as formações de novas crateras e conhecer suas características, nos permitindo retroagir na história da formação do Sistema Solar, da vida e mesmo de sua extinção. Por outro lado nos fornece vínculos observacionais para prever eventos futuros a respeito de nosso lugar no espaço e no tempo [19].

Sendo os fenômenos da Lua alguns dos primeiros contatos populares com a Astronomia à vista desarmada, e suas crateras uma das primeiras experiências com fenômenos astronômicos observáveis com um telescópio simples, nada mais estratégico do que alavancar o processo ensino/aprendizagem de forma interdisciplinar utilizando as crateras e umas das principais consequências do impacto: sua profundidade.



Figura 4: Foto da Lua tirada com uma máquina fotográfica digital e com luneta refratora simples em que é possível perceber o efeito de sombra na profundidade das diferentes crateras. Fonte: Scarano Jr.

A Astronomia é por si só uma área interdisciplinar, permitindo aplicação direta dos mais diversos conhecimentos científicos e áreas tecnológicas, o que por sua vez favorece o desenvolvimento intelectual do estudante ao promover a conexão entre teoria e prática científica. Seu ensino é previsto na educação básica desde os PCN e PCN+ [20, 21] e incorporada pela atual Base Nacional Comum Curricular [Erro! Fonte de referência não encontrada., 23], estando disperso em tópicos ou temas nas disciplinas de Ciências da Natureza, como Biologia e Física, e em Geografia.

Seu caráter interdisciplinar a torna potencialmente útil como elemento motivador para objetos de conhecimento da matriz curricular de Ciências da Natureza, por conseguir unir conteúdos e experiências vividas pelos alunos e a busca por novas aprendizagens. Isto se beneficia das concepções prévias e impressões que os estudantes têm sobre a Lua para despertar novas experiências, explorar novas possibilidades e então impulsionar a aprendizagem. Aprimorar esta experiência com uso de novas tecnologias, como softwares para análises de imagem, podem ajudar a transcender as concepções dos alunos, que muitas vezes se restringe ao que é dito no livro didático.

Para Moreira (2010) [24], materiais diversificados e criteriosamente selecionados podem compor, juntamente com os livros didáticos, elementos facilitadores da aprendizagem significativa crítica. Evita-se desta forma a aprendizagem mecânica, baseada na falsa concepção, trazidas pelo mal uso dos livros didáticos, de um recurso transmissor de verdades e certezas finalizadas, e, portanto, com um papel mais deformador do que formador dos processos que levam à construção do pensamento científico [24].

Soma-se a isso que o processo de ensino/aprendizagem de Ciências através de metodologias investigativas muda o foco das aulas, favorecendo que os alunos desenvolvam seu raciocínio e sua capacidade de realizarem trabalhos cooperativos, além de assumirem uma postura investigativa e empreendedora [Erro! Fonte de referência não encontrada., 26], o que favorece uma visão mais próxima da realidade sobre como fazer ciência [27, 28].

No ensino investigativo a aprendizagem é geralmente explorada por meio de situações-problema, em que o aluno deve ser protagonista, se responsabilizando pelo desenvolvimento de suas atividades, enquanto o professor atua como mediador ou incitador das questões [29]. Através de estímulos em momento estratégicos o educador será capaz de despertar a curiosidade do aluno, conduzindo-o a argumentação e elaboração de ideias por meio de questões problematizadoras.

Focados no interesse de desenvolver materiais interdisciplinares que envolvam a Física e Astronomia, foi apresentada neste trabalho a proposta de uma sequência didática envolvendo o tema da medida da altura das crateras da Lua, o material desenvolvido por meio de elementos da técnica de demonstrações investigativas e um exemplo de aplicação para três crateras.

2. MATERIAL E MÉTODOS

É possível estabelecer um procedimento didático e interdisciplinar para determinar a altura de crateras lunares a partir de conhecimentos básicos de Matemática fundamental e com a ajuda de softwares como o DS9 utilizados em Astronomia.

2.1 O cálculo da altura das crateras

Um procedimento para determinar a profundidade das crateras de forma indireta é utilizando a medida das sombras que estas fazem em uma dada da fase da Lua a partir de conhecimentos básicos de trigonometria. Considere por exemplo que se analise uma cratera como a mostrada na Figura 5.

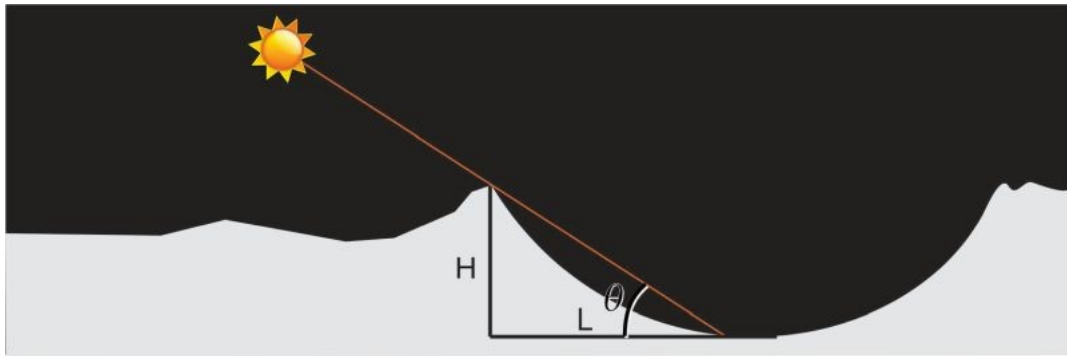


Figura 5: Esquema de uma cratera e como a luz proveniente do Sol é obstruída pelas suas bordas.

Se for prolongado um dos raios solares para delimitar a sombra formada na cratera, é possível formar um triângulo retângulo, onde “ H ” é a altura da cratera e “ L ” é o comprimento da sombra. Utilizando a relação da tangente, obtém-se que a altura “ H ” é igual a “ $L \cdot \tan\theta$ ”.

Como a Lua é aproximadamente uma esfera, pode-se criar uma relação entre seu raio e a distância da cratera a linha de divisão entre as metades iluminadas e escuras da Lua, chamada de terminador, constituindo outro triângulo com o Sol e a Terra, como mostra a Figura 6.

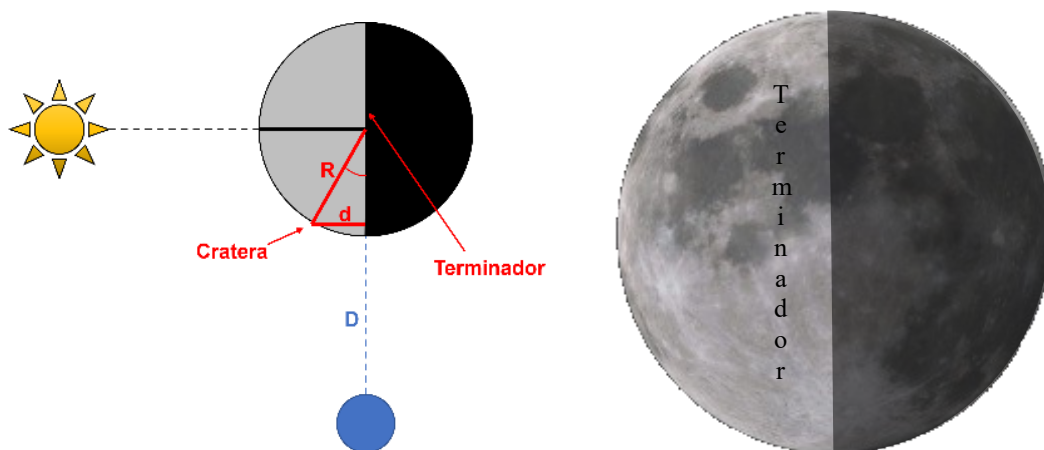


Figura 6: À esquerda o esquema Sol-Terra-Lua e da geometria envolvida para determinação da sua altura, onde “ R ” é o raio da Lua, “ d ” a distância da cratera ao terminador e “ D ” a distância da Terra à Lua. À direita detalhe do conceito de “terminador”.

Esta relação se mostra em um triângulo retângulo onde “ R ” é o raio da Lua, “ d ” é a distância entre a cratera e o terminador. O ângulo de incidência dos raios solares será o mesmo tanto para a cratera quanto para o terminador (Figura 7).

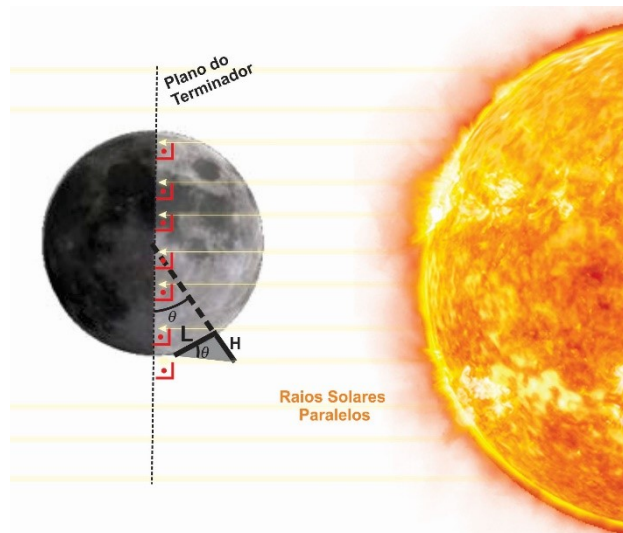


Figura 7: Figura ilustrando a igualdade do ângulo θ entre a sombra de comprimento L da sombra causada por um obstáculo de altura H e o ângulo entre o terminador e o raio da Lua.

Resolvendo a relação trigonométrica do seno, foi obtido o seguinte resultado:

$$\text{sen}\theta = \frac{d}{R} \quad (1)$$

Como os raios solares são praticamente paralelos entre si, todos eles são razoavelmente perpendiculares em relação à circunferência do terminador, conforme indicado pelos ângulos retos na Figura 7, embora sejam tangentes à superfície da Lua. Então, dependendo apenas da fase da Lua, pode-se escolher um momento de observação em que o ângulo de incidência θ da luz sobre a cratera seja pequeno (menor que dez graus, para fins didáticos), o que significa que podemos fazer uma aproximação entre a relação da tangente e a relação do seno. Para $\theta < 10^\circ$, temos $\text{sen}\theta \cong \text{tg}\theta \cong \theta$. Logo,

$$H = L \cdot \tan\theta \Rightarrow H = L \cdot \frac{d}{R} \quad (2)$$

2.2 Medindo as sombras das crateras da Lua

Para determinar a altura de crateras lunares são necessárias algumas medidas, como a comprimento da sombra da cratera que se quer medir e a distância linear dela ao terminador. Essas informações podem ser obtidas a partir de qualquer imagem da Lua e da cratera de interesse quando tanto a cratera quanto o terminador são observados. No entanto é plenamente factível utilizar imagens apenas das crateras da Lua, e conhecendo a fase da Lua durante a observação para calcular o ângulo de incidência dos raios solares sem localizar o terminador. A primeira opção foi escolhida neste trabalho por se tratar de uma disposição geométrica mais simples, dando liberdade ao professor concentrar-se no problema físico.

Observações astronômicas para medidas profissionais normalmente são registradas em imagens no formato *fits*, que podem ser exploradas em aplicativos gráficos voltados para a visualização de dados astronômicos. Nesta atividade foi utilizado o SAOImage DS9, um software profissional que possui diversas ferramentas otimizadas para a análise de dados astronômicos [30], onde não apenas o formato original *fits* pode ser usado, mas outros formatos tradicionais na internet, como *gif*, *png* ou *jpg*, também úteis para medidas que envolvam apenas geometria.

A fase mais simples da Lua para fazer medições é a quarto crescente ou quarto minguante, quando o ângulo Terra-Lua-Sol é aproximadamente reto. Portanto, deve-se buscar por imagens

com essas características. Imagens deste tipo podem ser encontradas no site da *Iowa University* e uma delas pode ser vista na Figura 8. Nada impede que imagens próprias obtidas da Lua possam ser utilizadas.



Figura 8: Imagem da Lua em formato fits aberta no software DS9. Fonte: ITU (2018) [31].

De posse das imagens é necessário identificar e selecionar as crateras que serão medidas. Para tal função pode-se usar um entre os muitos aplicativos disponíveis na “Play Store” como o “Moon Atlas 3D” [32], que fornece um mapa da superfície lunar em alta resolução (Figura 9). Também podem ser utilizadas imagens disponibilizadas pela LROC em sua página de internet [33] e com procedimentos descritos por Santo et al. (2018) [34]. Basicamente a identificação se dá a partir da comparação entre o mapa fornecido pelo aplicativo e a imagem em formato *fits*.

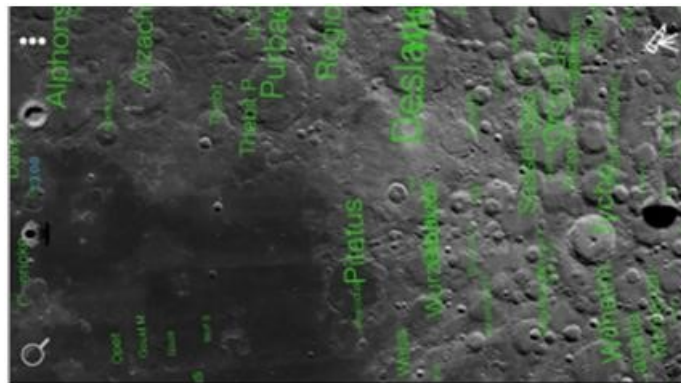


Figura 9: Captura de tela do aplicativo Moon Atlas 3D. Fonte: Moon Atlas 3d [32].

O passo seguinte é medir o tamanho da sombra da cratera e a distância da cratera ao terminador. Para este fim, foram utilizadas uma série de ferramentas do DS9, cujos detalhes são apresentados em Scarano Jr (2007) [30].

O primeiro passo para se discutir como fazer as medidas nas imagens é explicar o significado físico sobre como as informações são registradas na mesma, em conformidade com o terceiro tema estruturador preconizado pelos parâmetros Curriculares do Ensino Médio PCN+ [20, 21]. Em particular nos concentramos nos conceitos de pixel, como um elemento básico da imagem que, em um conjunto ordenado deles, determina um mapa, e que cada um deles demarca um par de coordenadas no céu e a quantidade de luz recebida desta direção. Explorando no DS9 ferramentas como o Zoom e as seções de informações da imagem é muito simples apresentar ao estudante as coordenadas registradas sobre onde se põe o ponteiro do mouse e a quantidade de

fótons incidentes em cada pixel pelos valores registrados nestes pixels e pela escala de intensidades utilizadas para exibir tal imagem. Nesta convenção, os pixels em que a incidência de luz for mais intensa, os tons apresentados serão mais claros e pixels que receberam menos luz (as sombras) as tonalidades serão mais escuras.

Por isto, para melhor visualizar as imagens obtidas, o primeiro passo é ajustar a melhor escala de contraste. No DS9 isso pode ser feito clicando e segurando o botão direito com o ponteiro do mouse sobre a imagem e arrastando-o para cima e para baixo. Após conseguir uma boa visualização dos detalhes das crateras pode-se começar o processo de tomar as medidas de interesse.

Para estimar o comprimento da sombra, utiliza-se o recurso do DS9 de se desenhar objetos sobre a imagem como círculos, quadrados, réguas, etc. Dada a simetria das crateras e para economizar cliques no processo, neste momento é mais conveniente a utilização de círculos. Isto é feito acessando-se o menu `Region > Shape > Circle` (Figura 10). Delimita-se assim a cratera por uma região circular, e utiliza-se outra região circular, centrada no terminador para delimitar a borda da sombra como mostrado na Figura 10. Para auxiliar na delimitação da borda da sombra, é utilizada a função `Projection` do DS9 (menu `Region > Shape > Projection`), que exibe um gráfico da quantidade de luz incidente na imagem ao longo de uma direção a ser traçada sobre a imagem na forma de uma linha (Figura 11).

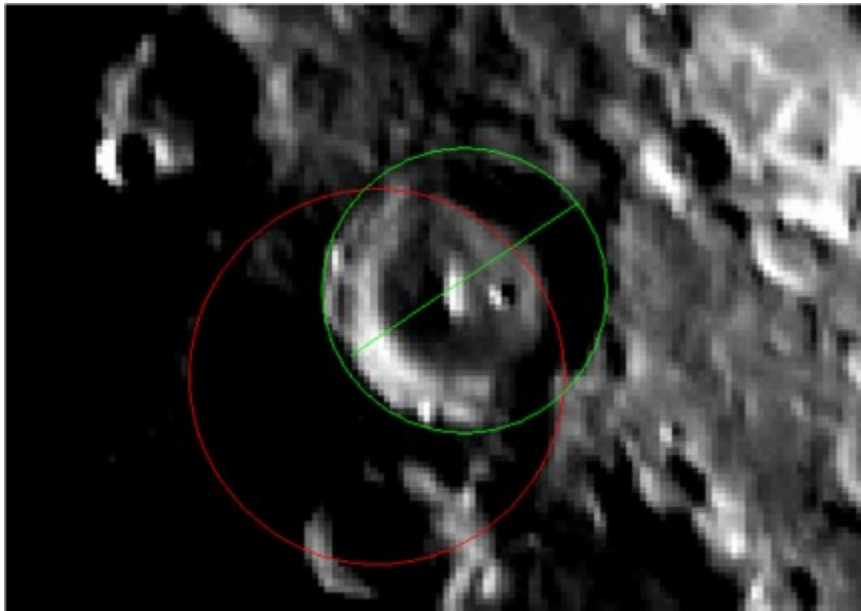


Figura 10: Ajustes circulares na cratera e no terminador com a ferramenta “circle” do DS9 e da linha que delimita a aplicação da função “Projection”, cujo resultado é apresentado na Figura 11.

Com a borda da cratera e a borda da sombra delimitada, usa-se a ferramenta *ruler* ou régua (`Region > Shape > Ruler`) para medir o tamanho da sombra em *pixels* (Figura 12).

A outra medida necessária é a distância entre a borda oposta da cratera e o terminador. Para delimitar a parte iluminada e não iluminada, é interessante o uso da ferramenta *Projection*. A ferramenta fornece um gráfico da intensidade ao longo de uma linha traçada sobre a imagem (ou seja, ao longo dos pixels que a linha passa por cima). A partir do gráfico deve-se procurar por um ponto onde ocorre o crescimento na quantidade de luz (proporcional às contagens no eixo vertical) de pixels como ilustrado na Figura 11.

A região de pouca contagem e valor aproximadamente constante na Figura 11 deve se referir à parte escura da Lua. A posição no gráfico onde as contagens começam a aumentar nos fornece a posição onde temos a transição entre a região escura e iluminada.

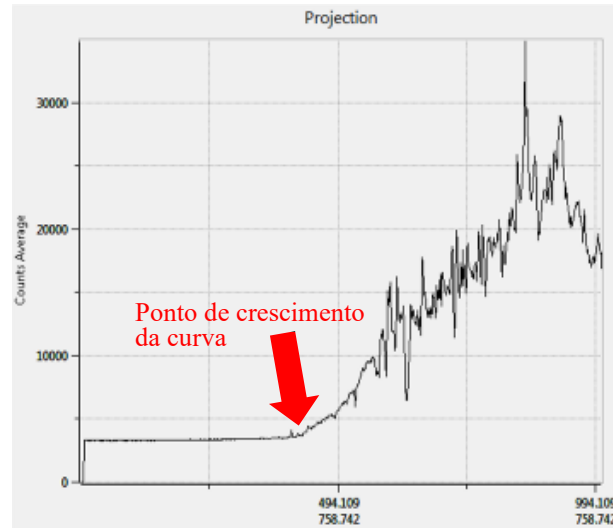


Figura 11: Gráfico fornecido pela ferramenta “Projection” no DS9. Pode-se notar pelo gráfico que a linha da região “Projection” foi traçada desde a sombra (esquerda do gráfico) até a parte iluminada da imagem da Lua (parte direita do gráfico).

O perfil de contagem obtido pela ferramenta *Projection* é traçado ao longo de uma linha desenhada sobre a região de interesse de modo que, utilizando o *Projection* em três regiões distintas da imagem conseguimos três pontos de transição, sobre os quais se pode então ajustar um traçado que, passando por eles, delimite a região clara e escura, revelando o terminador como mostrado na Figura 12.

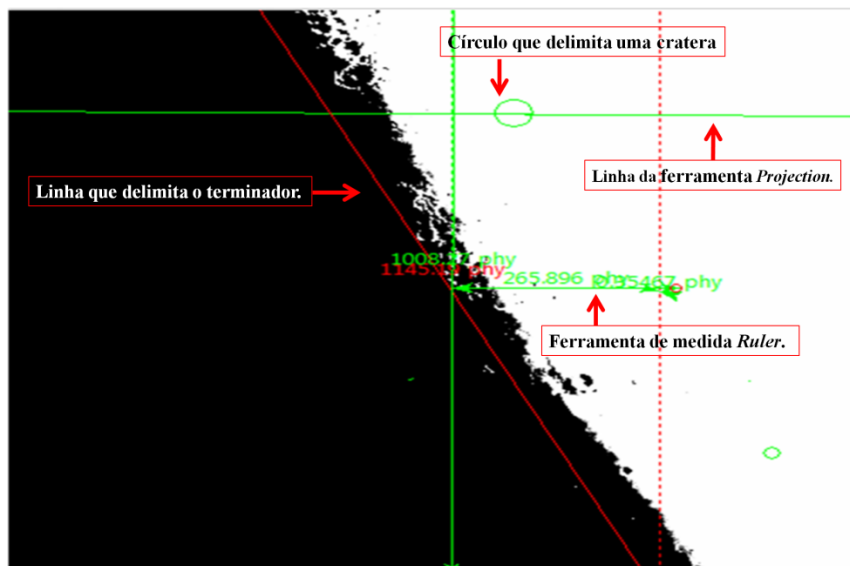


Figura 12: Uso das ferramentas do DS9 para delimitação do terminador e de crateras e para medidas de distância.

O uso da ferramenta *Projection* permite que a identificação do terminador não dependa apenas dos sentidos físicos do observador. Na Figura 12, a linha que delimita o terminador pode parecer visualmente na parte escura da Lua (para escala de visualização utilizada), mas seus pontos condizem com os obtidos por um procedimento reprodutivo utilizando a ferramenta *Projection*.

Com o terminador delimitado, o passo seguinte é medir a distância entre a borda da cratera e o terminador com a ferramenta *Ruler*. Como a cratera foi delimitada por uma região circular, a medida a ser feita é da circunferência que delimita uma cratera (borda mais distante do terminador) até a linha que delimita o terminador, como mostrado na Figura 13. A maior precisão nas medidas será obtida quando a direção que liga o terminador à borda da cratera for perpendicular ao próprio terminador.

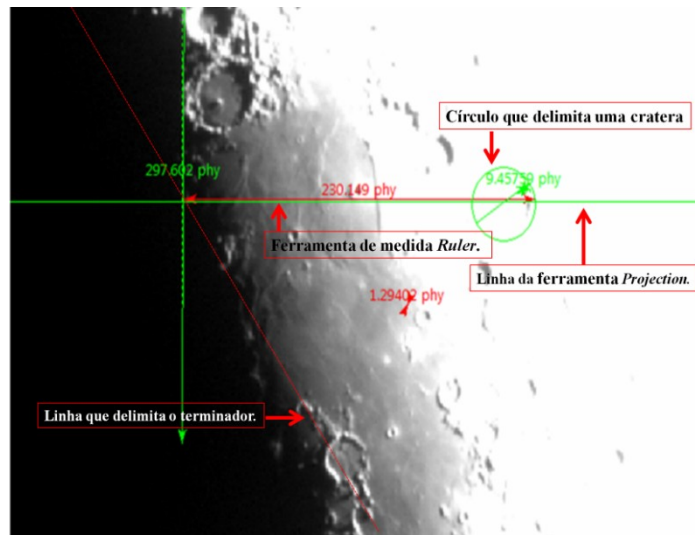


Figura 13: O uso da ferramenta ruler para medir a distância da cratera ao terminador.

Como mencionado anteriormente, as medidas feitas no DS9 estão em pixels e se faz necessário converter esta unidade para medidas tradicionais de distância, como quilômetro (km).

A conversão pode ser feita por regra de três simples. Para descobrir uma taxa de conversão entre pixel e km é necessário ou conhecer a escala da imagem, o que é fornecido pelos repositórios indicados, ou as determinando utilizando, por exemplo, o tamanho angular completo da Lua, sabido o seu tamanho, ou o valor do diâmetro real de crateras e seus tamanhos em pixels para calibrar novas medidas. Medidas reais e coordenada das crateras podem ser obtidas, por exemplo, no catálogo *NASA Catalogue of Lunar Nomenclature (NASA RP-1097)*, por Andersson e Whitaker (1982) [35], e permitir que o material seja previamente preparado para os alunos.

$$\begin{array}{rcl} \text{Diâmetro em pixel} & = & \text{diâmetro em km} \\ 1 \text{ pixel} & = & x \text{ km} \end{array} \quad (3)$$

Com a medida da altura da cratera e seu diâmetro é possível classificá-la como uma cratera simples ou complexa, conforme as descrições apresentadas na introdução deste trabalho.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira experiência dos alunos com a atividade proposta é o contato com as imagens da Lua, seja por uma primeira experiência com imagens obtidas diretamente de um telescópio, ou por meio das bases de imagens da câmera do *LRO (LROC)* ou o *Moon Atlas 3D*. Isto está em consonância com as recomendações do tema estruturador “Som, imagem e informação” no ensino de Física [20, 21]. Por um lado isso permite explorar conceitos de ótica, ao se lidar com um telescópio e todos os temas correlatos isso, como o comportamento ondulatório da luz, lentes, espelhos, refração e reflexão, e todos estes fenômenos combinados como recurso para

formação de imagens. Por outro lado, sem perder generalidade e de uma forma mais concisa, lida com a informação e o registro das imagens de onde os dados serão extraídos.

Neste aspecto, explora-se com os alunos diversos recursos dos softwares DS9 para otimizar a visualização e análise de imagens, aproximando-os do processo de investigação científica por meio da situação problema [Erro! Fonte de referência não encontrada., 26], que aqui exemplificamos como o desafio de medir a altura das crateras Autolycus, Triesnecker e Azarchel [36, 36].

A imagem da Lua utilizada aqui, provenientes do LROC tem as características necessárias, mencionadas na seção 2, para o desenvolvimento da atividade proposta. As imagens estão originalmente em formato *fits* e apresentam a Lua em um dos seus quartos (crescente ou minguante) e a proposta é que a posição de cada cratera seja identificada a partir do *Moon Atlas 3D*, explorando no limite o conceito de sistemas de referência, procedimentos de localização e estabelecimento de coordenadas.

Este processo de associação entre uma imagem científica “crua” e um mapa da Lua elaborado por cientistas que estudaram a região antes dos alunos os coloca em um grau maior de proximidade com o trabalho científico. A base de dados dos alunos não se constitui, assim, apenas da observação, mas de toda uma produção científica que os antecede. Isso muitas vezes coloca os alunos em posição desconfortável, por eles não terem uma receita para se atingir o objetivo proposto, mas também os impulsiona para a essência do ensino por investigação, em que não apenas ele vai ter que fazer tentativas e erros para elaborar os próprios passos em direção ao objetivo, mas contar com a colaboração dos colegas e com a construção histórica do conhecimento por meio dos trabalhos de pesquisadores profissionais, que eles são livres para consultar.

A Figura 14 abaixo mostra a imagem da Lua utilizada, já aberta no DS9, e as crateras escolhidas. A linha que faz referência ao terminador foi feita a mão livre conectando os 3 pontos obtidos com o procedimento da Figura 11.

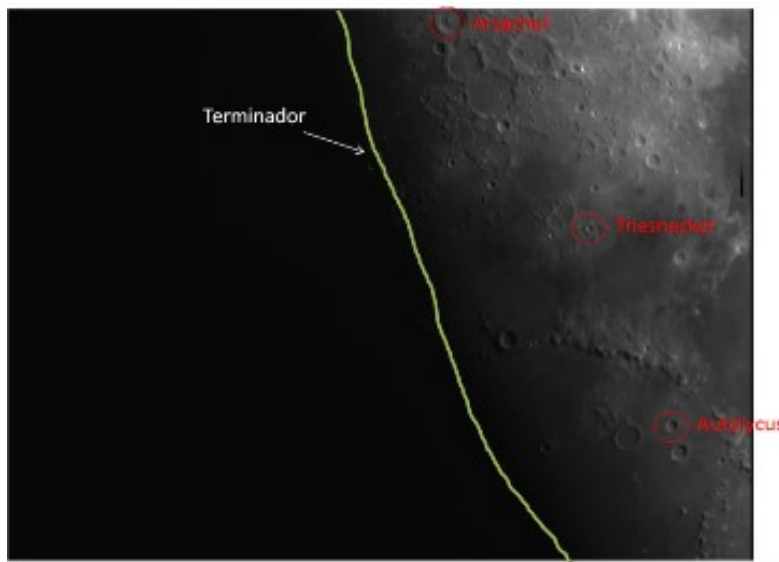


Figura 14: Crateras escolhidas e linha, aproximada, que delimita o terminador.

Para chegar neste passo os alunos são confrontados com a combinação da parte geométrica e física da formação de uma imagem. Lidam com uma grande matriz de pixels, cujas disposições demarcam as diferentes direções de uma observação (as coordenadas) e os tons de cinza indicam a quantidade de luz proveniente desta direção.

A manipulação da escala de brilho e contraste no DS9 os põem em contato direto com uma ação que eles executam no dia a dia ao manipular telas de celulares ou outros dispositivos de exibição eletrônica de imagens, mas agora com um propósito mais genérico de enfatizar regiões

de luz e sombra, sem alterar a quantidade de informação proveniente da imagem. Isso fornece um gancho muito importante com temas atuais, especialmente na diferenciação dos conceitos de “processamento” e “manipulação de imagens”. Na primeira se realçam informações presentes nas imagens, enquanto na segunda a informação é alterada. Neste ponto o processo de ensino pode ser alavancado com o uso de imagens divertidas, mas com conotação instrucional de modo a ilustrar a diferença de “realidade” e “*fake news*” por meio dos famosos memes [38].

A associação entre as grandezas físicas e geométricas, destacadas pelo manuseio do brilho e contraste, fornece a eles duas escalas de variação da imagem: a de grande ordem, que delimita a região de claro e escuro do terminador, e outras de pequena variação associadas ao relevo lunar.

À esta separação de grande escala verifica-se que uma curva não linear separa a região de sombras da Lua e sua região iluminada. Ao serem deparados com isso, além dos alunos explorarem a ferramentas de desenhos de regiões geométricas do software DS9, encaram o desafio de traçar uma curva representativa do terminador, que raramente é linear e propositalmente não é na atividade proposta. Também são incitados a explicar a razão desta curvatura. Neste ponto, as qualidades instrucionais do ensino por investigação são enaltecidas, e conforme de Carvalho (2018) [25] exigem do professor a ação mediadora para incitar a questão da esfericidade da Lua e que quando a sombra observada é da Terra, durante um eclipse, isso fornece evidências sobre a esfericidade da própria Terra.

Por sua vez, as variações de pequena ordem além de serem foco desta atividade, na delimitação das crateras, promovem outra rica discussão interdisciplinar. Neste contexto, levar os estudantes a especular sobre a presença de estruturas de relevo semelhantes à da Terra na Lua, permite um trabalho conjunto com a Geografia. Isso pode ser feito ao mostrar que existem estruturas de relevo na Terra formadas por crateras [39], porém com o surgimento de vegetações, lagos e rios, a ação de erosões, sedimentação e as intempéries do clima ao longo dos anos dificultam, hoje, a detecção de crateras, ou astroblemas como são conhecidos na área. Estes mesmos fenômenos, que literalmente apagam as crateras em escalas de tempo geológicas, estão relacionados às condições conhecidas para o estabelecimento da vida. Isto permite aproveitar uma conexão interdisciplinar com a Biologia, pois incita a discussão de como as diferenças entre ambientes terrestres e lunares favorecem ou não a origem e manutenção da vida. Também corroboram com a discussão sobre os processos de extinção, tema que torna os meteoros, e particularmente a possibilidade de impactos destes com a Terra, tão populares no cinema [40], conectando os objetos de conhecimento trabalhados nesta proposta com elementos do dia a dia do aluno.

Fazer com que os alunos especulem sobre qual a função da atmosfera e como ela atua na frenagem de objetos vindos do espaço, além do debate sobre as leis da gravitação, princípios da dinâmica e cinemática dos impactos e análise do sistema Sol- Terra- Lua e os princípios ópticos envolvidos na obtenção e análise das imagens trabalhadas são um campo rico para o ensino da Física

O próximo passo na atividade, com os traçados de retas, circunferências e réguas, destaca-se o papel da Matemática e da Geometria na proposta de ação investigativa e da Física experimental na ação de estabelecer estratégias de medida e a estas associar grandezas físicas. Por se tratar de uma tarefa simples talvez seja importante deixar livre aos alunos a iniciativa de organização dos dados adquiridos e da apresentação dos resultados, mas para não correr o risco de fazê-los perder tempo fora do foco da atividade apresentamos três estruturações de tabelas (Tabelas 1, 2 e 3) que podem ser apresentadas aos alunos vazias, para que eles mesmo as preencham. Vale destacar que outra conexão interdisciplinar também cabe aqui: a da Informática e elaboração de planilhas eletrônicas [41].

Com as medidas feitas com as regiões geométricas do DS9 conforme a seção 2.2 e resumidas na Figura 12, a Matemática entra no trabalho com as relações de dependência e proporcionalidade para a regra de três na expressão (3), enquanto a compreensão sobre as grandezas de medida a sua interconexão para mudança de unidades fica a encargo da Física (Tabela 1).

Tabela 1: Medidas e resultados para fator de conversão entre pixel e quilômetros.

Cratera	Medidas		
	Raio [pixel]	Raio [km]	Fator de Conversão [km/pixel]
Triesnecker	6,8479	13,0	1,90
Arzachel	22,5891	41,5	1,84
Autolycus	10,2447	20,0	1,95
		Média	1,90

Para obter os fatores de conversão de pixel para km na Tabela 1 sugere-se que sejam feitas as medidas em pixels nas imagens das crateras por diferentes membros de um grupo e a identificação das medidas físicas nos catálogos por outro grupo. Assim pode-se explicar a importância do uso da matemática e da estatística no método científico [42, 43], para assim obter os valores de fatores de conversão mais significativos por meio da média entre os diferentes valores resultantes em comparação às medidas únicas registradas com o mesmo método.

Em seguida deve-se sugerir a criação de outra tabela, onde estarão os valores medidos tanto para a distância d das crateras ao terminador, quanto os comprimentos L das sombras, ambos valores medidos tanto em pixels quanto calculado em quilômetros, utilizando o fator de escala médio (Tabela 2).

Tabela 2: Dados do comprimento L da sombra da cratera e da distância da cratera ao terminador d .

Cratera	Medidas			
	L [pixel]	d [km]	L [km]	d [km]
Triesnecker	6,3	265,9	12,0	504,1
Arzachel	9,5	230,1	17,9	436,3
Autolycus	5,4	264,5	10,3	501,4

Com esses dados e a equação (2), adotando o raio da Lua como 1738,1 km os valores das alturas das crateras estudadas, podem ser calculados, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Alturas encontradas e alturas reais das crateras.

Cratera	Medidas		
	H [km]	Altura Real [km]	Erro Percentual [%]
Triesnecker	3,4	2,8	23,8%
Arzachel	4,5	3,6	25,0%
Autolycus	3,0	3,4	12,8%

O resultado final, com diferenças percentuais de 10% a 20% não é diferente as que são obtidas em outras atividades didáticas como as propostas no projeto Telescópios na Escola [44], mas em diversos aspectos pode frustrar os alunos, pois muito comumente eles vêm com uma cultura de precisão absoluta induzida por se trabalhar com física de modo puramente teórico. O ensino investigativo tende a romper esta tendência e aproximar o aluno de um método mais próximo do real ao confrontar a construção do conhecimento em ciência, pareando o método de aprendizagem do aluno com o próprio método científico. Eles também não estão acostumados

com um dos conceitos mais distintivos da Física: não apenas medir uma grandeza, mas estabelecer critérios para delimitar tal grandeza por meio de incertezas.

Para tornar esta atividade mais simples sugerimos que os alunos calculem em suas tabelas os erros percentuais, mas por outro lado a atividade pode ser muito enriquecida com a introdução de outras grandezas estatísticas úteis não só em Ciências da Natureza, como também nas Ciências Sociais: além da média o desvio padrão. A partir disso pode-se estabelecer a diferença entre os conceitos de erro e incerteza já no Ensino Médio. Isso também fornece um critério para que os alunos possam propor aperfeiçoamento nos métodos de medida focando a minimização das incertezas produzidas.

4. CONCLUSÃO

Estudar crateras pode parecer algo com pouca relevância para olhos despertados. Contudo estudos sobre impactos de meteoritos nas superfícies lunar e terrestre são importantes, porque estes corpos contêm informações sobre a origem do sistema solar. Em termos práticos, também temos interesses em conhecer o máximo sobre estes impactos, pois a própria Terra pode ser vítima de outro impacto. Quanto mais informações temos sobre este fenômeno, mais conhecemos as ações que podemos empreender para nos proteger de suas consequências. Analisar impactos implica estudar as formações de crateras e seus tipos. A altura da cratera auxilia na determinação, por exemplo, do diâmetro, da massa, da energia, da composição e da frequência de cada tipo de meteorito.

Foi proposta uma atividade em que estas questões puderam ser abordadas de uma forma interdisciplinar e ativa, baseada na aprendizagem por investigação. Foi demonstrado que com o método simplificado aqui apresentado, baseado em geometria e matemática do ensino fundamental, foi possível obter as alturas das crateras Triesnecker, Arzachel e Autolycus, com erros percentuais inferiores a 25%. Assim, já em uma abordagem preliminar, conciliando o estudo de Geometria, Matemática e Geografia, é possível usar a sombra das crateras ou de quaisquer outras características da superfície da Lua para obter suas alturas.

Nesta proposta Astronomia foi utilizada como plano de fundo, mas qualquer itinerário formativo baseado na nova Base Nacional Comum Curricular pode tomar vantagem de uma atividade como essa. A Matemática, por exemplo, além de fornecer as ferramentas geométricas necessárias que estruturam o método, pode se beneficiar, como componente curricular, desta temática utilizando-o como recurso motivador para o ensino de Geometria e de relações de dependência e proporcionalidade.

Em Geografia ao analisar estruturas de relevo, como as crateras da Lua e mensurar suas dimensões, os estudantes poderão ser estimulados a comparar os fenômenos geológicos e a distinção dos fenômenos na Lua, buscando razões que os levarão a aprofundar-se em questões como vulcanismo, placas tectônicas, agentes erosivos etc.

Isso além de estimulador é também um método de ensino importante que utiliza recursos simples e facilmente acessíveis seja pela internet, ou mesmo com observações próprias dos alunos. Com isso é possível explorar a aprendizagem pelas descobertas e a aprendizagem investigativa tendo os estudantes como protagonistas.

Além disso, propiciar o uso de aparatos tecnológicos, comuns às atividades da Astronomia, e o uso de métodos experimentais com os alunos favorece o contato deles com alguns meios de produção do conhecimento utilizados por profissionais, como DS9 e a base de imagens LROC da NASA e, portanto, promovem os conceitos sobre a construção do saber científico de uma forma mais próxima de suas próprias experiências. Desenvolver um método e segui-lo, bem como se adaptar às necessidades decorrentes do problema ou dificuldades e limitações impostas pelas ferramentas disponíveis fazem parte do dia a dia da ciência e dos cientistas, o que ajuda a promover o espírito científico e investigador nos estudantes.

5. AGRADECIMENTOS

Sinceros agradecimentos aos colegas da turma MNPEF/2015.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Benz W, Cameron A, Melosh H. The origin of the Moon and the single-impact hypothesis III. *Icarus*. 1989;81(1):113-31.
2. Hartmann WK, Davis DR. Satellite-sized planetesimals and lunar origin. *Icarus*. 1975;24(4):504-15. doi: 10.1016/0019-1035(75)90070-6
3. Canup RM, Righter K. *Origin of the Earth and Moon*. Vol. 30. Arizona (US): University of Arizona Press; 2000.
4. Asphaug E. Impact origin of the Moon? *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 2014;42:551-78.
5. Ronca LB. An introduction to the geology of the moon. *Proceedings of the Geologists' Association*. 1966;77(1):101-25. doi: 10.1016/S0016-7878(66)80013-5
6. Gilbert GK. 14. The Moon's face: A study of the origin of its features. In: Lang KR, Gingerich O, editors. *A Source Book in Astronomy and Astrophysics, 1900-1975*. Cambridge (US), London (GB): Harvard University Press; 2013. p. 80-7.
7. Shida RY, Scarano Jr S. Medindo as dimensões das crateras lunares. *Telescópios na Escola* [Internet]; 15 mar 2018 [citado em 26 nov 2021]. Disponível em: <http://www.telescopiosnaescola.pro.br/crateras.pdf>
8. Koeberl C. Craters on the Moon from Galileo to Wegener: A short history of the impact hypothesis, and implications for the study of terrestrial impact craters. *Earth, Moon, and Planets*. 1999;85:209-24.
9. Gault DE, Shoemaker EM, Moore HJ. *Spray ejected from the lunar surface by meteoroid impact*. California (US): National Aeronautics and Space Administration; 1963.
10. Ivanov B, Neukum G, Bottke W, Hartmann W. The comparison of size-frequency distributions of impact craters and asteroids and the planetary cratering rate. *Asteroids III*. 2002;1:89-101.
11. Kozыrev N. Volcanic activity on the Moon. *International Geology Review*. 1959;1(10):40-4.
12. Kozыrev N. Volcanic phenomena on the Moon. *Nature*. 1963;198(4884):979-80. doi: 10.1038/198979a0
13. Brennan W. Modification of pre-impact craters by volcanism and tectonism. *The moon*. 1975;12(4):449-61.
14. Leonardi P, Rittmann A, Sommariva E. *Volcanoes and impact craters on the Moon and Mars*. Amsterdam (NL): Elsevier; 1976.
15. Ivanov BA. Mars/Moon cratering rate ratio estimates. *Space Science Reviews*. 2001;96(1):87-104.
16. Smith EI. Comparison of the crater morphology-size relationship for Mars, Moon, and Mercury. *Icarus*. 1976;28(4):543-50.
17. Tolentino RJV. Crateras de impacto [Internet]; 9 dez 2015 [citado em 26 nov 2021]. Disponível em: <http://vaztolentino.com/galerias-de-imagens/1-Fotos-Antigas>
18. Chin G, Brylow S, Foote M, Garvin J, Kasper J, Keller J, et al. Lunar reconnaissance orbiter overview: The instrument suite and mission. *Space Science Reviews*. 2007;129(4):391-419.
19. Eldredge N. Cretaceous meteor showers, the human ecological “niche,” and the sixth extinction. In: MacPhee RDE, editor. *Extinctions in Near Time: Causes, contexts, and consequences*. Boston (US): Springer US; 1999. p. 1-15. doi: 10.1007/978-1-4757-5202-1_1
20. Brasil. Ministério da Educação (MÊS), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (SEMTEC). *PCN+ Ensino Médio: Orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias*. Brasília (DF): MEC/SEMTEC; 2006.
21. Brasil. Ministério da Educação (MEC). *Parâmetros Curriculares Nacionais. Parte III: Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias* [Internet]. Brasília (DF): MEC; 1999 [citado em 26 nov 2021]. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>
22. Brasil. Ministério da Educação (MEC). *Base Nacional Curricular Comum – BNCC* [Internet]. Brasília (DF): MEC; 2017 [acesso em 29 nov 2021]. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/imagens/BNCC_EI_EF_110518_-versaofinal_site.pdf
23. Lima Jr JGS, de Andrade JE, Dantas JM, Gomes LM. Uma reflexão sobre o ensino de Astronomia na perspectiva da Base Nacional Comum Curricular. *Sci Plena* 2017;13(1):012707.
24. Moreira MA. *Aprendizagem significativa crítica (critical meaningful learning)* [Internet]. Teoria da Aprendizagem Significativa, p. 10. Porto Alegre (RS): UFRGS; 16 mar 2010 [citado em 26 nov 2021]; Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigcritport.pdf>
25. de Carvalho AMP. Fundamentos teóricos e metodológicos do ensino por investigação. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*. 2018;18(3):765-94. doi: 10.28976/1984-2686rbpec2018183765

26. de Souza MVJ, Dantas VA, de Freitas Filho JR, de Almeida MAV. Utilização de situação de estudo como forma alternativa para o ensino de física. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*. 2009;11(1):1-15.
27. Quaresma BM, Ribeiro CS, Araújo RC, Novais ALF, Chagas ML, Gomes LM, et al. *Astronomia no Ensino Fundamental: um estudo de caso no interior do estado do Pará*. *Sci Plena* 2019;15(7):074813. doi: 10.14808/sci.plena.2019.074813
28. Xavier JVL, Bonfim EL, do Nascimento SA, Moura TRS, da Silva MGD, Sitko CM, et al. *Stellar evolution concepts and the dissemination of knowledge in Astronomy*. *RSD*. 2020 Sep;9(9):e993998042.
29. de Carvalho AMP. Fundamentos teóricos e metodológicos do ensino por investigação. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*. 2018;18(3):765-94. doi: 10.28976/1984-2686rbpec2018183765
30. Scarano Jr S. Manual de Utilização do Programa DS9 [Internet]; 2007 [citado em 10 nov 2020]. Disponível em: www.telescopiosnaescola.pro.br/manual_ds9.pdf
31. ITU: Imaging the Universe: Measure the height of lunar craters [Internet]; 9 dez 2018 [citado em 26 nov 2021]. Disponível em: <http://astro.physics.uiowa.edu/ITU/labs/observational-labs/studying-the-moon/height-of-lunar-files/>
32. Rakoczy G. Moon Atlas 3D: Android APK High resolution Moon maps, over 8000 craters. 2021 [Internet]. 16 mar 2018 [citado em 29 nov 2021]. Disponível em: <https://m.apkpure.com/br/moon-atlas-3d/com.grzyboo.MoonAtlas3D>
33. LROC. LROC: QuickMap [Internet]; 16 mar 2018 [citado em 26 nov 2021]. Disponível em: <http://quickmap.lroc.asu.edu>
34. Santos JP, Oliveira WD, Santos RD, Scarano Jr S. Medidas em Física e Interdisciplinariedade com a Matemática: Medindo o tamanho das crateras da Lua à distância. In: Scarano Jr S, Souza DN, organizadores. *Ensino de Física: Novos olhares*. São Cristóvão (SE): Editora UFS; 2018. p. 30-49.
35. Andersson LE, Whitaker EA. *NASA catalogue of lunar nomenclature*. Vol. 1097. Arizona (US): National Aeronautics and Space Administration, Scientific and Technical; 1982.
36. Sacani S. Direto do Observatório Lunar Vaz Tolentino: As crateras Archimedes, Aristillus e Autolycus. *SPACETODAY* [Internet]; 06 jun 2012 [citado em 26 mar 2018]; Disponível em: <https://spacetoday.com.br/vtol-archimedes-aristillus-autolycus/>
37. Tilt UOL. 15 fatos incríveis sobre a Lua que você talvez não saiba. UOL [Internet]; 21 nov 2021 (acesso em 9 ago 2022). Disponível em: <https://www.uol.com.br/tilt/noticias/redacao/2021/11/21/15-fatos-incriveis-sobre-a-lua-que-voce-talvez-nao-saiba.htm> (accessed August 9, 2022)
38. da Silva Brito C, de Camargo Sant'Ana C, Sant'Ana IP. Memes com viés matemático e suas potencialidades para o ensino de Matemática. *Revista Sergipana de Matemática e Educação Matemática*. 2020;5:173-88.
39. Lisle RJ. Google Earth: a new geological resource. *Geology Today*. 2006;22(1):29-32.
40. Weiner A. The physics of Hollywood movies (or using Hollywood movies to teach and learn physics). *Journal of Science & Popular Culture*. 2018;1:83-91.
41. Ginns I. Using spreadsheets in astronomy. *Australian Science Teachers Journal*. 1998;44(1):52-3.
42. D'Agostini G. Teaching statistics in the physics curriculum: Unifying and clarifying role of subjective probability. *American Journal of Physics*. 1999;67(12):1260-8.
43. Nagl MG, Obadovic D Z, Segedinac M. Effective teaching of physics and scientific method. *Tem Journal*. 2012;1(2):85-9.
44. TnE: Material Didático [Internet]. 15 mar 2018 [citado em 26 nov 2021]; Disponível em: <http://telescopiosnaescola.pro.br/material.html>