



A NATUREZA DO REDSHIFT SEGUNDO O PRINCÍPIO DE CONSERVAÇÃO DA ENERGIA MECÂNICA DO FÓTON

Daniel Souza Cardoso

Instituto Federal Sul Rio-grandense, Câmpus CaVG, Pelotas, Brasil

danielcardoso@cavg.ifsul.edu.br

RESUMO

Nesta análise verificou-se a aderência do princípio de conservação da energia mecânica do fóton (CEF) à descrição dos redshifts gravitacional e cosmológico. Constatou-se que o redshift $z(\text{CEF})$ explica completamente a natureza gravitacional, refrativa e doppler do redshift cosmológico. O redshift $z(\text{CEF})$ mostra-se capaz de descrever variações de redshift mantendo H_0 constante. Verificou-se as características de uma matéria desconhecida (**DM**), invisível e com índice de refração negativo e relativístico, possivelmente matéria escura. Apresenta-se a classificação dos domínios do redshift cosmológico para altas e baixas velocidades da **DM**.

Palavras chave: redshift gravitacional, redshift cosmológico, conservação da energia mecânica do fóton.

1 INTRODUÇÃO

A discussão da natureza do desvio da luz para o vermelho parece menos cansada que a luz de Zwicky [9], pois segundo Radosz et al. [22], recentemente autores divergem se é de natureza cinemática ou gravitacional. Nesta análise apresenta-se a natureza do redshift segundo o princípio da conservação da energia mecânica do fóton [5], com predominância gravitacional, cinemática e da interação fóton-matéria.

Segundo Arp et al. [1], o desvio para o vermelho apresenta padrões que não podem ser definidos com base na velocidade relativa entre o astro observado e a Terra, onde chega a supor que haveria um desvio para o vermelho intrínseco.

Na teoria da luz cansada, em reanálise [33], [17], discutem um desvio para o vermelho associado às sucessivas interações fóton-matéria ao longo do percurso da luz. Ashmore [2], considerando a interação fóton-matéria buscou evidenciar que o deslocamento do comprimento de onda em função do número de interações com elétrons apresentam resultados que diferem em 26% do valor esperado para o redshift z , o que indica que a interação fóton-matéria pode explicar parte do desvio para o vermelho.

Recentemente, Trinchera [32] discute os efeitos das sucessivas interações entre fótons e elétrons na perspectiva da luz cansada, comparando com a interpretação Doppler do desvio para o vermelho no espectro solar, explicando o desvio como consequência das perdas de energia dos fótons devido às sucessivas interações.

A variação do redshift em função do comprimento de onda em astros ou conjuntos com a mesma velocidade relativa em relação à Terra deve ser considerado. Ferreras e Trujillo [10] verificam uma independência do comprimento de onda para o redshift cosmológico, com precisão de 10^{-6} , contudo os autores consideraram que z é um valor médio do desvio para o vermelho de todas as linhas úteis e discutem que o espectro de galáxias é uma superposição de espectros estelares com idades e composições químicas diferentes e que as linhas de absorção compreendem uma mistura de muitas características espectrais, por vezes, moleculares das atmosferas da população estelar. Os autores relatam a inviabilidade de reproduzir para galáxias individuais, o estudo realizado para restringir os desvios para o vermelho cosmológico padrão.

Considerando os estudos de Lopresto et al. [16], o deslocamento teórico (gravitacional) do comprimento de onda superestima o deslocamento do comprimento de onda observado. O autor apresenta a dispersão dos deslocamentos do comprimento de onda em função do comprimento de onda, onde é possível verificar que além de

diferentes deslocamentos para o mesmo comprimento de onda, também haverão diferentes redshifts para diferentes comprimentos de ondas do espectro solar, a exemplo que para o comprimento de onda de 3000\AA podemos encontrar redshifts entre $3,33 \cdot 10^{-7}$ e $3,0 \cdot 10^{-6}$. Por sua vez, o modelo do redshift gravitacional teórico atual não é uma função do comprimento de onda.

Embora o esperado para o desvio para o vermelho cosmológico seja independente da frequência da fonte, ou pouco dependente [28], estudos recentes verificam cenários possíveis em função da frequência. Yang et al. [34], analisaram a detecção de defeitos topológicos de matéria escura, onde o índice de refração varia com o comprimento de onda.

Segundo Rogers [23], o índice de refração pode estar associado às propriedades do plasma não homogêneo no âmbito de lentes gravitacionais, no domínio da frequência, considerando que a dependência radial da frequência se deve ao desvio para o vermelho no espaço curvo.

Estudos recentes demonstram que a diminuição da velocidade da luz no vácuo depende da magnitude do momento angular orbital [3]. Petrov [20], observa variações da velocidade de grupo com a largura do feixe incidente e que a velocidade média no percurso para grandes distâncias é menor que c , onde os atrasos aumentam com o comprimento de onda.

A interação fóton-matéria na perspectiva da conservação da energia mecânica do fóton, em energia cinética rotacional (CEF) [5], demonstra que o fóton conserva energia em movimento orbital apresentando um deslocamento do comprimento de onda, de forma que o fóton é bem caracterizado por um pacote de energia sem decaimentos. O deslocamento do comprimento de onda da CEF é capaz de estimar o número de franjas de interferência, num interferômetro de Michelson, com incerteza entorno de 0,5% e menores desvios percentuais comparados ao modelo da literatura [4].

Neste trabalho, buscou-se verificar a validade do deslocamento do comprimento de onda em acordo com a CEF [4], na métrica de Schwarzschild, do desvio para o

vermelho do Sol por ser amplamente estudado frente a outros astros onde a imprecisão de medidas indiretas podem ser maiores. Verificou-se a aderência da conservação da energia mecânica do fóton à Lei de Hubble, na descrição do redshift nos percursos de Terra – Virgo, Ursa Major, Corona Borealis, Bootes e Hydra. Apresenta-se o redshift **z(CEF)** que compreende os efeitos gravitacional, refrativo e doppler, sob à luz da conservação da energia mecânica do fóton.

2 METODOLOGIA

O cenário da descrição desenvolvida neste trabalho transcorre no espaço-tempo ligeiramente curvo, onde o evento de interação gravitacional ocorrerá no exterior da concentração de massa, caracterizado pela métrica de Schwarzschild, dada por [29]:

$$(ds)^2 = -e^{2\frac{\phi}{c^2}}(cdt)^2 + (dx_i)^2, \quad (1)$$

onde:

$$\phi = \frac{c^2}{2} \ln\left(1 - \frac{2GM}{rc^2}\right), \quad (2)$$

onde **ds** é a distância espaço-temporal infinitesimal entre dois eventos, **ϕ** o potencial gravitacional.

Neste trabalho, considerou-se o deslocamento do comprimento de onda ($\Delta\lambda$) em acordo com a teoria da conservação da energia mecânica do fóton em energia cinética rotacional [5], da forma [4]:

$$\Delta\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_e h \nu_0 (1 - n_{1,2}^2)}} (1 - n_{2,1}), \quad (3)$$

sendo **h** a constante de Planck, **m_e** a massa do elétron, **ν_0** a frequência do fóton na fonte e **n_{ij}** o índice de refração relativo.

Adotou-se o desvio para o vermelho do Sol para analisar a validade da CEF na métrica de Schwarzschild para o diagnóstico do deslocamento do comprimento de onda da luz, frente a interação com a matéria e sem perdas de energia.

Os efeitos predominantes ao longo do percurso do fóton são verificados em função da distância, considerando a Lei de Hubble [28], adotando $H_0 = 68 \text{ km.s}^{-1}/\text{Mpc}$. A equação caracteriza os efeitos gravitacionais e refrativos, com interação fóton-matéria. O efeito doppler é independente da interação, porém compõe o balanço de efeitos passíveis ao fóton ao longo do percurso.

Considerou-se que quando a velocidade relativa é muito menor que a velocidade da luz no vácuo ($V_{\text{rel}} \ll c$):

$$\frac{v}{v_0} \approx (1 - \beta) \approx (1 + \beta)^{-1} \quad , \quad (4)$$

$$\beta = \frac{v_0 - v}{v_0}; \quad \beta + 2 = \frac{v_0 + v}{v} \quad , \quad (5)$$

sendo $\beta = V_{\text{rel.}}/c$.

A análise é conduzida para um fóton, mas pode ser estendida para um número muito grande de fótons. Embora possa haver N fótons interagindo, ou um fóton interagindo N vezes com um elétron, a energia é conservada a cada interação e por consequência independe do número de interações.

3 DESENVOLVIMENTO

Considerando a equação (1), podemos escrever o índice de refração relativo em função da métrica de Schwarzschild num análogo com a literatura [15], [12] e [27]:

$$n_{2,1} = e^{\frac{2\phi}{c^2}} \quad . \quad (6)$$

A equação (2) pode ser expandida em série na qual os termos de maior potência podem ser desprezados para grandes valores de r , caracterizando um campo Newtoniano. Assim, pode-se verificar que o desvio para o vermelho gravitacional segundo a conservação da energia mecânica do fóton, considerando a eq. (3), na métrica de Schwarzschild é dada por:

$$z_{CEF,G} = \frac{1}{2} \frac{E_0}{\sqrt{\frac{1}{2} m_e c^2 E_0 \left(1 - e^{-\frac{2R_s}{r}}\right)}} \left(\frac{R_s}{r}\right), \quad (7)$$

onde E_0 e R_s são a energia do fóton emitido e o raio de Schwarzschild, respectivamente.

Na singularidade onde $R_s \rightarrow 0$ ou para $r \gg R_s$:

$$\Delta \lambda = 0 .$$

Para $R_s < r$, de forma geral:

$$\Delta \lambda > 0 .$$

Um dos aspectos que descredenciam a teoria da luz cansada é o fato que o fator de largura $w = z + 1$, é aproximadamente constante ($w \approx 1$) pelo fato que z é pequeno. Neste sentido, verificou-se o comportamento de w na perspectiva da conservação da energia mecânica do fóton, segundo a eq. (7). Na Figura 1, verifica-se que fator de largura ajusta-se com precisão aos valores esperados¹ [14]. O ajuste segundo a eq. (7) mostrou-se adequado permitindo que o deslocamento do comprimento de onda segundo a conservação da energia mecânica do fóton satisfaça o redshift z considerando a interação fóton-matéria, com predominância do efeito gravitacional. A simulação do $z(\text{CEF}, G)$ representa os valores esperados para altos redshifts, onde considerou-se R_s na eq. (7) em função da massa do astro, numa faixa de $1,989.10^{30}$ kg (uma massa solar) à $1,691.10^{31}$ kg, com r constante e igual à um raio solar, por simplicidade.

¹ A representação dos valores adequados/esperados [14] e da média do esperado para teoria da luz cansada é qualitativa, não apresentando fidelidade e precisão.

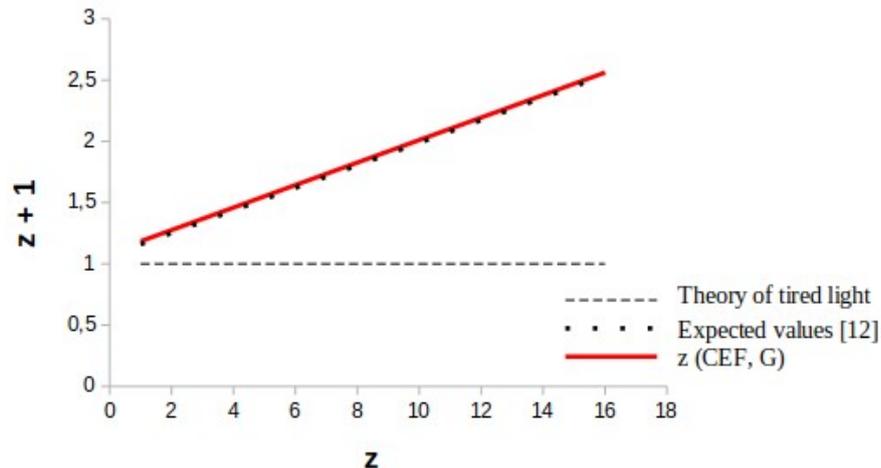


Figura 1: Comportamento do fator de largura (w) em função do redshift z , segundo a conservação da energia mecânica do fóton (Fonte: autor).

Nos dados de deslocamento por comprimento já discutidos e encontrados em Lopresto et al. [16], verifica-se que o redshift gravitacional atual além de superestimar os dados de deslocamento, não explica os diferentes redshifts por comprimento de onda. A seguir, demonstra-se que o redshift $z(\text{CEF}, \text{G})$ representa o comportamento dos dados na superfície do Sol em função do comprimento de onda e que os diferentes redshifts por comprimento de onda surgem quando a interação fóton-matéria sob efeito gravitacional transcorre à determinadas distâncias da superfície solar.

Na Figura 2, se verifica que os diferentes redshifts por comprimento de onda podem ser explicados pela interação fóton-matéria sob potencial gravitacional à determinadas distâncias da fonte. O redshift $z(\text{CEF}, \text{G})$, por comprimento de onda, será menor com o decréscimo do potencial gravitacional. Neste sentido, indica-se que mesmo sob efeito gravitacional o deslocamento do comprimento de onda ocorrerá mediante interação com a matéria, que pode transcorrer em pontos distantes da fonte.

De forma geral, para análise de sistemas à grandes distância, é comum desprezar-se por convenção o redshift gravitacional por ser pequeno comparado à grandes redshifts. O Princípio da conservação da energia mecânica do fóton segundo

Cardoso [5], satisfaz que o deslocamento do comprimento de onda associado à $z(\text{CEF}, \text{G})$ seja nulo na ausência do campo gravitacional. Aqui demonstra-se que o redshift gravitacional de fato deve ser desprezado em grandes distâncias ao passo que decresce rapidamente em curtas distâncias solares e se anula na ausência do campo gravitacional, embora reserva-se o fato que o redshift $z(\text{CEF}, \text{Ref})$ (discutido adiante) é capaz de perpetuar os desvios se ocorrerem de forma sequenciada.

Nota-se que os dois comprimentos de ondas exemplificados na Figura 2, compreendem a estimativa do redshift gravitacional atual nas mediações da superfície solar, da mesma forma observaríamos para os demais comprimentos de onda até porque o redshift gravitacional atual ser uma estimativa aproximada da média dos dados. Assim podemos distinguir dos diferentes redshifts por comprimento de onda, àqueles característicos por comprimento de onda na superfície solar, conforme discute-se a partir da Figura 3.

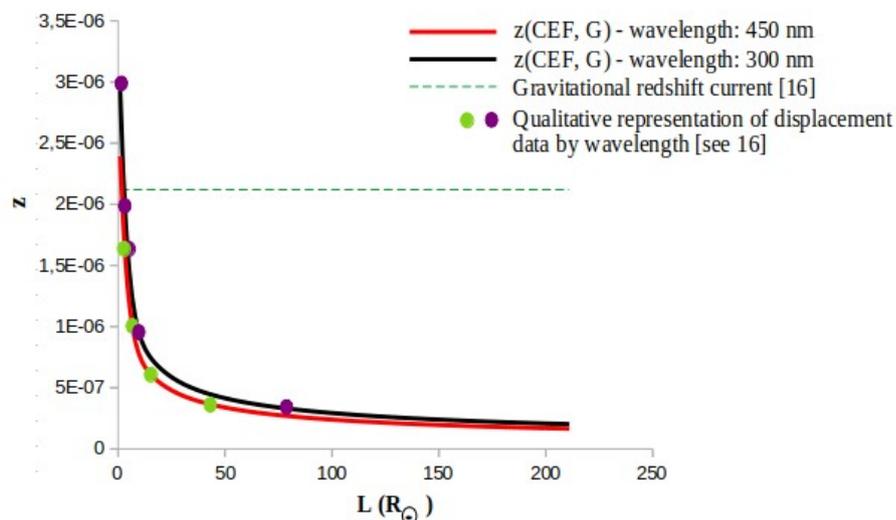


Figura 2- O comportamento dos redshifts $z(\text{CEF}, \text{G})$ e redshift gravitacional atual, com a queda do potencial gravitacional (Fonte: autor).

Considerando que na literatura, o redshift z pouco depende, ou independe do comprimento de onda e que, porém, verifica-se uma dispersão dos deslocamentos do comprimento de onda em função do comprimento de onda no Sol [16]. Verifica-se na Figura 3, que o redshift $z(\text{CEF}, \text{G})$ representa o comportamento dos dados do espectro

solar em função do comprimento de onda, diferentemente do redshift gravitacional atual. O redshift gravitacional² atual não é uma função do comprimento de onda e representa apenas a média superestimada dos dados³. Na Figura 3, compara-se os resultados do redshift gravitacional atual, o resultado de Einstein e do redshift $z(\mathbf{CEF}, \mathbf{G})$, o qual mostra maior representatividade dos desvios para os menores comprimentos de onda, bem como os valores estimados por Einstein [8] e Lopresto et al. [16].

Considerando que o redshift gravitacional superestima a média dos dados, o fato do redshift $z(\mathbf{CEF}, \mathbf{G})$ concordar com o aumento do comprimento de onda, permite dizer que $z(\mathbf{CEF}, \mathbf{G})$ subestima a média dos dados para pequenos comprimentos de onda e superestima para com o aumento do comprimento de onda. Nesta condição, o redshift $z(\mathbf{CEF}, \mathbf{G})$ apresenta um comportamento na superfície do Sol, no qual suas estimativas oscilam entorno da média dos dados que se traduz numa característica importante de um modelo predictor em função do comprimento de onda e da distância em relação à fonte.

Ponderou-se verificar o redshift estimado pelo modelo de redshift gravitacional atual, utilizando o redshift refrativo $z(\mathbf{CEF}, \mathbf{Ref})$ apresentado no segundo termo da eq. (10), para em oposição ao modelo $z(\mathbf{CEF}, \mathbf{G})$ satisfazer o redshift teórico mediante um meio refringente possível no percurso Terra-Sol, constituído de uma matéria desconhecida e invisível. Constatou-se que um meio com índice de refração relativo de $\sim 1,000004247$ explicaria completamente o redshift teórico (2μ) para um fóton com comprimento de onda de 644 nm na fonte e deslocamento de 1,26868 pm, contudo declinou-se atribuir o meio refrativo no balanço $z(\mathbf{CEF})$ (discutido adiante) por dois aspectos, um por não explicar os diferentes redshift por comprimento de onda, outro associado a velocidade relativa dessa possível matéria desconhecida em relação à Terra, no percurso Terra-Sol, conforme discute-se adiante. Contudo, verificaremos que a

² Na Figura 3 o redshift gravitacional atual foi tratado como modelo gravitacional atual.

³ A representação dos dados apresentados na Figura 3, revelam de forma qualitativa apenas alguns máximos, mínimos e valores intermediários de Lopresto [16]. Fica subentendido que há uma massa de dados de deslocamentos não reportados aqui, dos quais a média é superestimada pelo redshift gravitacional atual.

medida que o $z(\text{CEF}, \mathbf{G})$ perde representação com a distância, o $z(\text{CEF}, \mathbf{Ref})$ mostra-se preponderante para a manutenção de \mathbf{H}_0 constante.

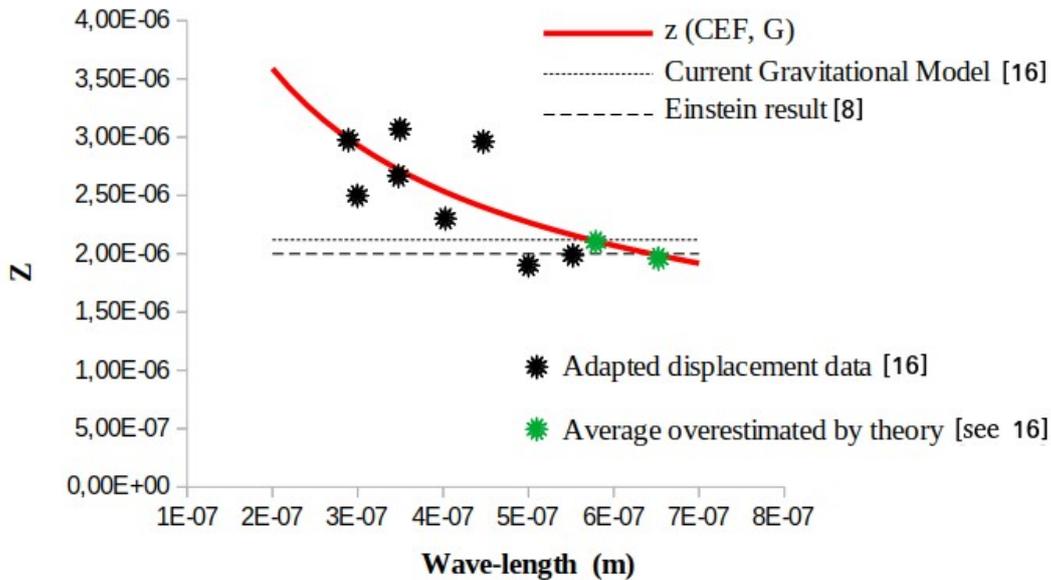


Figura 3 - $z(\text{CEF}, \mathbf{G})$ em função do comprimento de onda (Fonte: autor).

De forma geral, constatou-se que a aderência do redshift $z(\text{CEF}, \mathbf{G})$ à métrica de Schwarzschild foi satisfatória e que o redshift $z(\text{CEF}, \mathbf{Ref})$ representa completamente os desvios no meio refringente, qualificando a eq. (3) na forma do redshift $z(\text{CEF}, \mathbf{Ref})$ para verificar sua aderência ao redshift cosmológico, em função da constante de Hubble, na perspectiva de um índice de refração relativo, pois em acordo com Sarazin [27] um índice de refração cosmológico pode explicar o redshift cosmológico e a dilatação do tempo. Assim, o quadrado desta relação:

$$\frac{h \nu^2}{2 m_e c^2 \nu_0} \left[\frac{n-1}{n+1} \right] = \frac{H_0^2}{c^2} d^2, \quad (8)$$

onde $\mathbf{n} = \mathbf{n}_{2,1}$ e \mathbf{d} a distância entre o laboratório e a fonte, tal que o índice de refração relativo é uma função da distância e em acordo com Yang et al. [34], do comprimento de onda, onde a partir da eq. (8), podemos descrever:

$$n = \frac{2 \lambda_{lab} m_e H_0^2 d^2 + \lambda_0 E_{lab}}{\lambda_0 E_{lab} - 2 \lambda_{lab} m_e H_0^2 d^2} \quad (9)$$

Na Figura 4, verifica-se o comportamento do índice de refração relativo dado pela eq. (9) em função da distância e do comprimento de onda da fonte. De forma geral, todos os sistemas para um certo comprimento de onda se aproximam de -1,0 com o aumento da velocidade relativa, concordando com Chila [6] que constatou o mesmo comportamento para um índice de refração relativístico negativo com o aumento de β . Índices de refração negativos são atualmente encontrados em metamateriais [13], [18], [21], [30] e alguns com características de invisibilidade [13], [30]. Neste perspectiva, se pode dizer que um material desconhecido (**DM**) com características de invisibilidade e refração negativa explica completamente o redshift cosmológico segundo a **z(CEF, Ref)**, sendo que a matéria escura apresenta essas características [24], [25], [11].

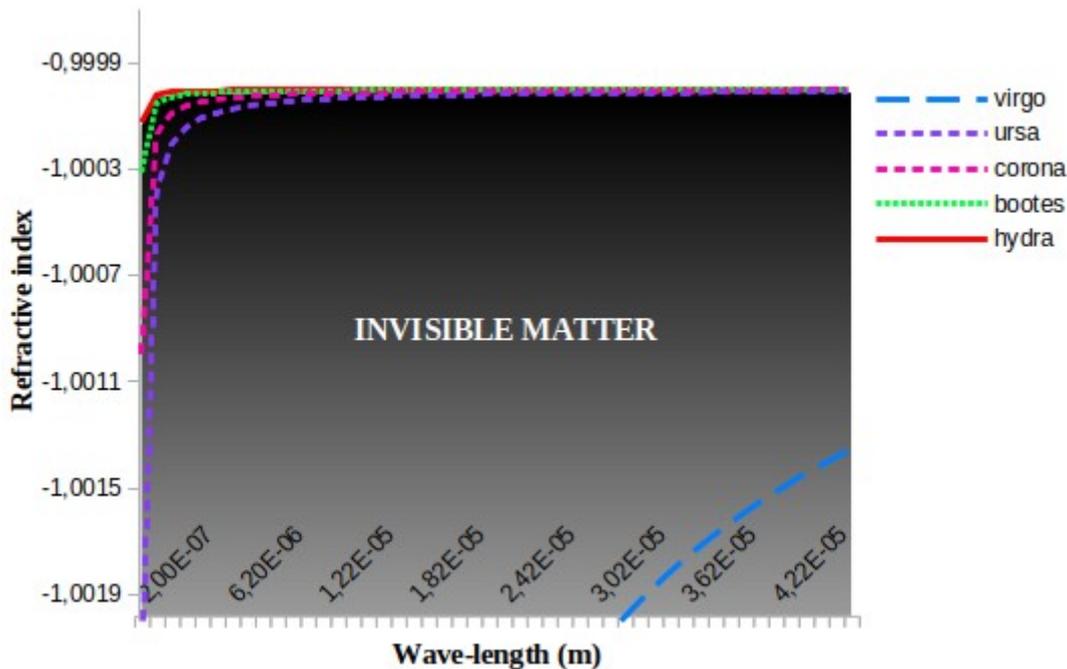


Figura 4- Índice de refração relativo em função da distância e do comprimento de onda (Fonte: autor).

Destaca-se que o redshift $z(\mathbf{CEF}, \mathbf{Ref})$ apresenta-se capaz de explicar o redshift gravitacional e cosmológico, completamente, a partir de um meio refringente como verificado e tratado adiante. Contudo, não será assumido aqui um único fenômeno para descrever o redshift, como feito até então. Os fenômenos associados à luz são diversos e conhecidos, onde presume-se que ao longo do percurso o fóton possa experimentar todos aqueles capazes e passíveis no percurso, de promover um deslocamento do comprimento de onda.

Considerando às aderências aos redshifts gravitacional e cosmológico, e que o redshift pode ser caracterizado na combinação de efeitos a exemplo do desvio relativístico representado na combinação dos desvios gravitacional e doppler [7], adota-se um balanço dado pelo redshift $z(\mathbf{CEF})$. Atribuindo um desvio refrativo, um fóton sob o efeito de três ou mais contribuições de forma sequenciada:

$$z_{CEF} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{2} m_e c^2 E_0}} \left[\frac{1}{2} \frac{E_0}{\sqrt{1 - e^{\frac{-2R_s}{R_{CM} + L}}}} \left(\frac{R_s}{R_{CM} + L} \right) + \frac{1}{2} E_{lab} \left(\frac{\bar{n} - 1}{\bar{n} + 1} \right)^{\frac{1}{2}} \right] + \frac{V_{rel}}{c}, \quad (10)$$

onde \mathbf{n} pode ser verificado na equação (9), para contribuições pontuais, ou através da média no percurso. A componente doppler para a matéria desconhecida (DM) foi considerada ajustada para $\mathbf{V}_{DM} \ll \mathbf{c}$, onde:

$$\left[\frac{\bar{n} - 1}{\bar{n} + 1} \right]^2 = \left[\frac{v_0 - v_{lab}}{v_{lab} + v_0} \right]^2 = \left(\frac{1}{2} \frac{V_{DM}}{c} \right)^2. \quad (11)$$

O primeiro termo da eq. (10) caracteriza um desvio independente do observador em $\mathbf{L} = 0$. Os demais termos dependem do observador, em termos da velocidade relativa em relação ao astro observado e da refringência entre o observador e o astro. \mathbf{R}_{CM} é o raio médio do sistema de massas, centrado no centro de massa e $\mathbf{L} + \mathbf{R}_{CM}$ é a distância do fóton ao centro de massa do sistema, sendo \mathbf{V}_{rel} a velocidade relativa entre a fonte e o observador.

A análise apresentada nas Figura 2 e Figura 3, foi conduzida através da eq. (10) considerando uma velocidade relativa média nula entre a Terra e o Sol e da mesma forma atribui-se que velocidade relativa da matéria desconhecida (V_{DM}) no percurso Terra-Sol é nula, sendo o outro motivo para desconsiderarmos o termo $z(\mathbf{CEF}, \mathbf{Ref})$ neste percurso.

Nota-se claro que as medidas de distância estão associadas aos dois últimos termos da eq. (10) e que o termo doppler pode ser consideravelmente atenuado ou amplificado com o termo refrativo. O termo gravitacional $z(\mathbf{CEF}, \mathbf{G})$ não é um indicativo para medidas de distância. Se a velocidade relativa é nula ou desprezível [19], ainda sim os desvios são não nulos e linearmente dependentes das componentes gravitacional e refrativa. Neste sentido, as distâncias fonte-observador podem ser caracterizadas da seguinte forma:

$$\frac{H_0 d}{c} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{2} m_e c^2 E_0}} \left[\frac{1}{2} E_{lab} \left(\frac{1}{2} \frac{V_{DM}}{c} \right)^{\frac{1}{2}} \right] + \frac{V_{rel}}{c} , \quad (12)$$

Analisou-se os redshifts de Virgo, Ursa Major, Corona Borealis, Bootes e Hydra, considerando a matéria desconhecida (DM) na perspectiva da matéria escura por simplicidade. As velocidades V_{DM} consideram uma velocidade peculiar média de halo de 150 km/s, ponderando o intervalo de intensidades conhecidas [26], [31]. Nestes termos, as velocidades relativas apresentadas a seguir são mais qualitativas do que quantitativas, muito embora as velocidades peculiares nesta análise apresentam maior influência no índice de refração (quarta casa decimal) do que nas velocidades relativas observador-sistema, onde as diferenças são pequenas.

Constatou-se que a parte refrativa apresentou um redshift $z(\mathbf{CEF}, \mathbf{Ref})$ que no balanço da eq. (12), ocasionou um decréscimo entre 0,004 e 0,02% nas velocidades conforme Figura 5, considerando $H_0 = 68 \text{ km.s}^{-1}/\text{Mpc}$. Nesta perspectiva a combinação dos redshifts apresentados na eq. (10) explica o redshift, mostrando-se adequado às distâncias e velocidades estimadas pela Lei de Hubble. O redshift $z(\mathbf{CEF}, \mathbf{Ref})$

apresentou ordem de magnitudes de 10^{-5} para Virgo e 10^{-4} para os demais, respeitando o efeito doppler, embora como discutido possa representar completamente os mesmos desvios. O redshift $z(\mathbf{CEF}, \mathbf{Ref})$ em função de V_{DM} , fornece os índices de refração não relativísticos, onde constatou-se os valores positivos arredondados de 1,0059; 1,0726; 1,1029; 1,191 e 1,32 para Virgo, Ursa Major, Corona Borealis, Bootes e Hydra, respectivamente.

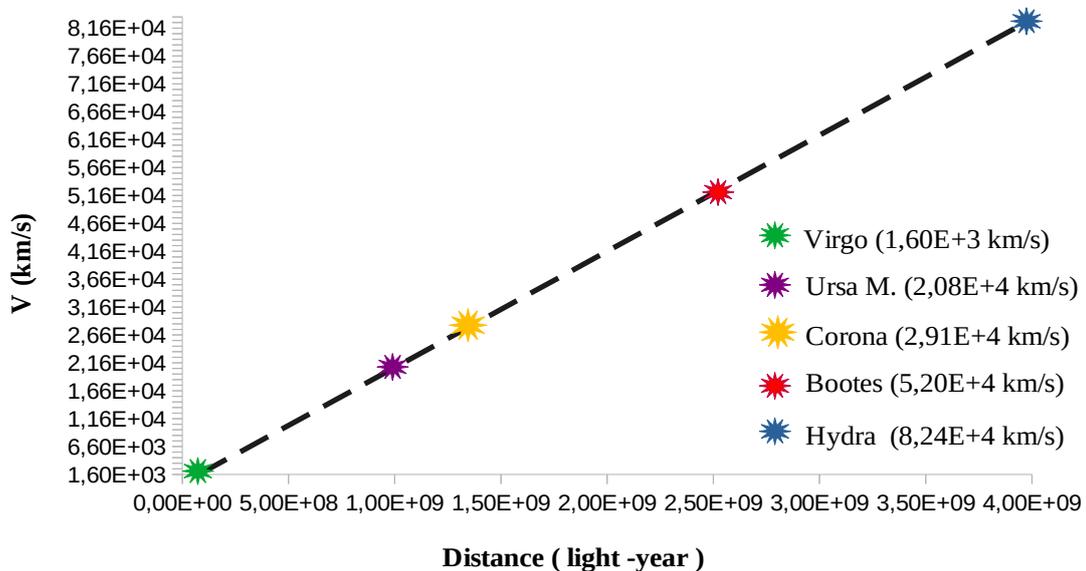


Figura 5- Velocidades relativas em função da distância (Fonte: autor).

O aumento de um índice de refração não relativístico, chegando à 1,32, causa estranheza e ponderou-se descrever com índices relativísticos. Considerou-se os resultados de Chila [6] para interpolação, adotando um índice de refração para quando a velocidade da matéria desconhecida (V_{DM}) for ligeiramente maior que $0,5c$, onde verificou-se o mesmo comportamento linear da Figura 5, com diferença que a velocidade de Virgo decresceria para 778 km/s. A Figura 6 demonstra as diferenças percentuais para duas representações de $z(\mathbf{CEF}, \mathbf{Ref})$ no balanço da eq. (12), uma para baixas velocidades em função de V_{DM} e outra em termos do índice de refração relativístico ($n = - 7$) de Chila [6], constatando concordância em grandes distâncias

entre baixas e altas velocidades da matéria desconhecida e discordância para distâncias da ordem de Virgo.

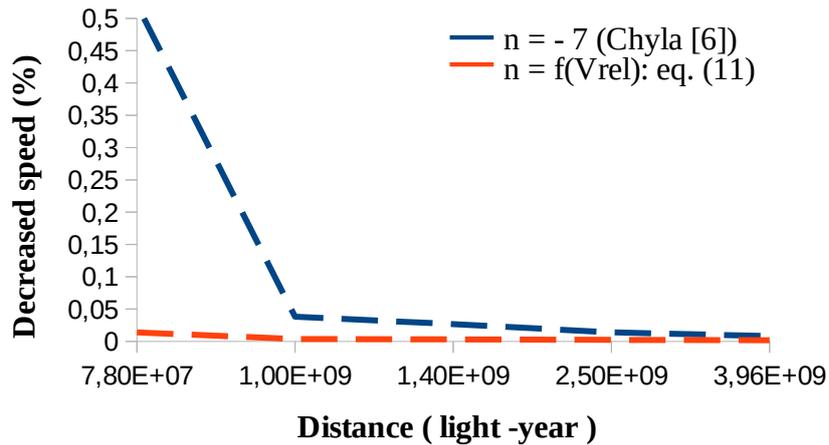


Figura 6- Diferenças percentuais das velocidades relativas dos sistemas, em relação às velocidades relativas segundo a Lei de Hubble (Fonte: autor).

Em ambos os casos para atender variações percentuais pequenas como apresentadas na Figura 6, desprezando o princípio da conservação da energia mecânica do fóton, a constante H_0 necessariamente terá que variar. Na Figura 7, pode-se verificar que para o modelo atual puramente doppler acompanhar diferenças percentuais desprezíveis, ele apresentará flutuações onde observa-se que para atender as diferenças de velocidades geradas pelo índice de refração relativístico de Chila, apresentará uma flutuação maior (azul), quando comparado com as flutuações (preto) para acompanhar as diferenças obtidas para baixas velocidades da matéria desconhecida (**DM**).

O primeiro termo da expressão (10) deve ser capaz de descrever outras interações gravitacionais ao longo do percurso do fóton, a exemplo de interações com grandes centros de massas de aglomerados ou galaxias. Nesse sentido, assume-se os efeitos das interações com diferentes centros de massas, em que $z_0(\mathbf{CEF}, \mathbf{G})$ é o desvio gravitacional original inerente à fonte, tal que de forma aditiva:

$$z_{\mathbf{CEF}, \mathbf{G}} = z_{0(\mathbf{CEF}, \mathbf{G})} + \sum_i z_{i(\mathbf{CEF}, \mathbf{G})} \quad (13)$$

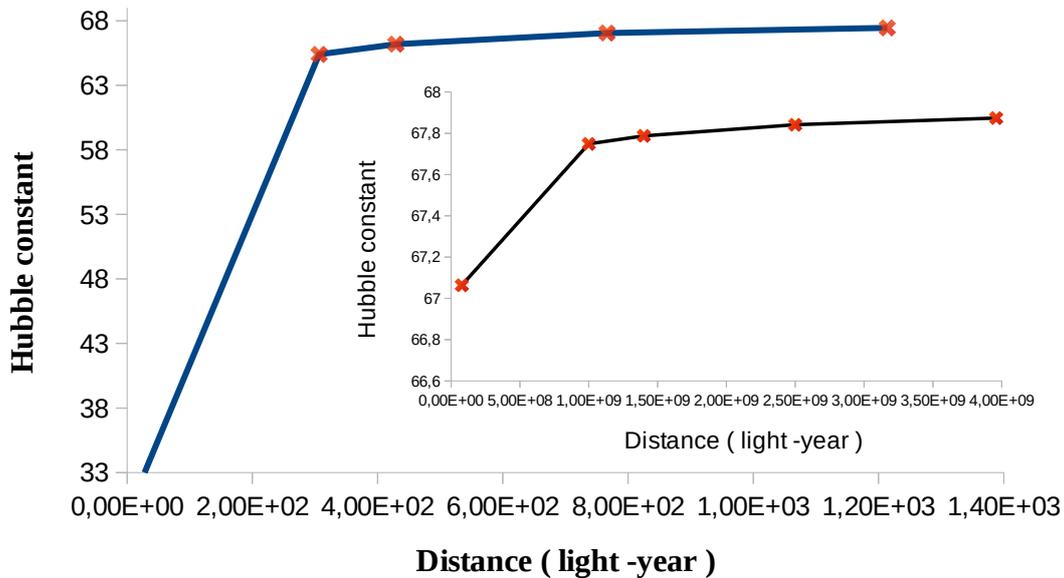


Figura 7- Variação da constante Hubble ao desconsiderar o princípio de conservação da energia mecânica do fóton (Fonte: autor).

4 CONCLUSÕES

Verificou-se a natureza do desvio para o vermelho na perspectiva da conservação da energia do fóton [5], considerando os efeitos refrativo, gravitacional e doppler. Constatou-se a aderência aos modelos gravitacional e cosmológico. No domínio da frequência, a descrição apresentou efeitos não previstos nos dois modelos convencionais, a exemplo da variação do redshift z com o comprimento de onda e altitude em relação à superfície da fonte, no caso gravitacional. Em comparação com o modelo cosmológico, dentro do contexto da análise, é capaz de tratar variações do redshift mantendo H_0 constante.

O redshift $z(\text{CEF})$ segundo o princípio da conservação da energia mecânica do fóton é capaz de explicar completamente os redshifts gravitacional, cinemático e refrativo. Ponderou-se que o redshift cosmológico deve satisfazer tantos fenômenos

conhecidos ao comportamento particular da luz, quantos forem passíveis no contexto do percurso fonte-observador.

Os domínios da natureza do redshift são destacados a seguir, quanto às características cinemáticas de uma matéria desconhecida, podendo ser matéria escura.

I) Para altas velocidades de V_{DM} o redshift $z(\mathbf{CEF}, \mathbf{Ref})$ apresenta sua máxima representação para $V_{DM} \approx 0,99...c$.

II) Se a velocidade da matéria desconhecida encontrar-se no intervalo $0,5c < V_{DM} < 0,95c$, o redshift cosmológico é composto pelos termos relativísticos refrativo e doppler. As velocidades relativas atuais dos sistemas segundo a Lei de Hubble podem variar e H_0 mantêm-se constante. O índice de refração negativo é relativístico podendo ser obtido por interpolação em Chyla [6].

III) Se a velocidade da matéria desconhecida encontrar-se no intervalo $0,95c < V_{DM} < c$, o redshift cosmológico está no domínio refrativo, explicando completamente ou majoritariamente, considerando (I) e o balanço discutido em (II). O índice de refração negativo é relativístico podendo ser obtido por interpolação em Chyla [6].

IV) Se a velocidade da matéria desconhecida for pequena comparada à velocidade da luz, o redshift cosmológico é composto pelos termos relativísticos refrativo e doppler. As velocidades relativas atuais dos sistemas segundo a Lei de Hubble podem variar e H_0 mantêm-se constante. O índice de refração é uma função de V_{DM} , segundo a eq. (12).

V) Quando $-1 \leq n \leq 1$, o termo refrativo é nulo e o redshift cosmológico está nos domínios gravitacional $z(\mathbf{CEF}, \mathbf{G})$ e doppler.

VI) O redshift gravitacional $z(\mathbf{CEF}, \mathbf{G})$ explica os diferentes redshifts por comprimento de onda em função da distância e os redshifts para diferentes comprimentos de onda na superfície da fonte. Quanto maior a distância da interação fóton-matéria sob efeito gravitacional, em relação a fonte, menor será o redshift $z(\mathbf{CEF}, \mathbf{G})$.

O balanço adequado dos redshifts em $Z(\mathbf{CEF})$ pode manter H_0 constante. Nesta análise, foi considerado um valor arbitrário de H_0 , dentro da faixa de valores

considerados na literatura, embora a descrição satisfaça outros valores também⁴. Sugere-se uma calibração definitiva de H_0 para maior representatividade do balanço $z(\text{CEF})$.

O redshift $z(\text{CEF})$ é uma propriedade da luz frente à interação, onde o fóton conserva sua energia em movimento orbital enquanto translada, deslocando seu comprimento de onda, segundo o princípio de conservação da energia mecânica do fóton [5], [4].

5 INDICAÇÕES DE NOVOS ESTUDOS

- * Sugere-se a análise do redshift $z(\text{CEF}, G)$ na perspectivas de outras métricas.
- * Sugere-se a verificação da extensão do índice de refração relativístico de Chyla [6], para diversos sistemas.

6 REFERÊNCIAS

- [1] ARP, H.; FULTON, C.; CAROSATI, D. **Intrinsic Redshifts in Quasars and Galaxies**. 2013.
- [2] Ashmore, Lyndon E. **Calculating the redshifts of distant galaxies from first principles by the new tired light theory (NTL)**. JIOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1251 (2019) 012007.
- [3] Bouchard, F., Harris, J., Mand, H., Boyd, RW & Karimi, E. **Observation of subluminal twisted light in vacuum**. *Optica* 3, 351–354 (2016)
- [4] CARDOSO, Daniel Souza. **A conservação da energia mecânica do fóton, em energia cinética rotacional, frente à alguns resultados e expectativas teóricas com interferômetros de Michelson na literatura**. *Ciência e Natura*, v. 40, p. e59, 2018.

⁴ Testado para $H_0 = 50 \text{ km.s}^{-1}/\text{Mpc}$ e $H_0 = 72 \text{ km.s}^{-1}/\text{Mpc}$.

- [5] CARDOSO, Daniel Souza. **Theory of Conservation of Photon Mechanical Energy , in the Transition between Two Middles , in Rotational Kinetic Energy.** International Journal of Science and Research (IJSR) 7 (7), 810-815.
- [6] Chyla, W. T. (2013). **Refraction in a relativistic medium.** Optik - International Journal for Light and Electron Optics, 124(13), 1477–1479. doi:10.1016/j.ijleo.2012.04.012
- [7] DO, Tuan et al. **Relativistic redshift of the star S0-2 orbiting the Galactic center supermassive black hole.** Science, v. 365, n. 6454, p. 664-668, 2019.
- [8] EINSTEIN, Albert. **Über den Einfluß der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes.** Annalen der Physik, v. 340, n. 10, p. 898-908, 1911.
- [9] F. Zwicky .**ON THE REDSHIFT OF SPECTRAL LINES THROUGH INTERSTELLAR SPACE** .Proceedings of the National Academy of Sciences Oct 1929, 15 (10) 773-779; DOI: 10.1073/pnas.15.10.773
- [10] FERRERAS, Ignacio; TRUJILLO, Ignacio. **Testing the wavelength dependence of cosmological redshift down to $\Delta z \sim 10^{-6}$.** The Astrophysical Journal, v. 825, n. 2, p. 115, 2016.
- [11] Gardner, S., Latimer, D. C., & Marshak, M. L. (2009). **Dark Matter Constraints from a Cosmic Refractive Index.** Doi:10.1063/1.3293792
- [12] Hadi, M. (2019, September 3). **A refractive index of a kink in curved space.** <https://doi.org/10.31227/osf.io/x2qtw>
- [13] Imhof, C., Zengerle, R. **Experimental verification of negative refraction in a double cross metamaterial.** Appl. Phys. A 94, 45–49 (2009). <https://doi.org/10.1007/s00339-008-4834-2>
- [14] L. Wright. **Errors in Tired Light Cosmology.** www.astro.ucla.edu/~wright/tiredlit.htm, Apr 2008.
- [15] Lavenda, B. (2017) **The Optical Properties of Gravity.** Journal of Modern Physics, 8, 803-838. doi: 10.4236/jmp.2017.85051.

- [16] Lopresto, J. C., Chapman, R. D., & Sturgis, E. A. **Solar gravitational redshift**. *Solar Physics*, vol. 66, June 1980, p. 245-249.
- [17] Ming-Hui Shao, Na Wang and Zhi-Fu Gao (December 7th 2018). **Tired Light Denies the Big Bang**. IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.81233. Available from: <https://www.intechopen.com/books/redefining-standard-model-cosmology/tired-light-denies-the-big-bang>
- [18] Muhan Choi, Jong-Ho Choe, Byungsoo Kang, Choon-Gi Choi. A **flexible metamaterial with negative refractive index at visible wavelength**. *Current Applied Physics*, Volume 13, Issue 8, 2013, Pages 1723-1727, ISSN 1567-1739, <https://doi.org/10.1016/j.cap.2013.06.028>.
- [19] PETRIE, R. M. **Some Problems of Stellar Motions**. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, v. 43, p. 1, 1949.
- [20] Petrov, N.I. **Speed of structured light pulses in free space**. *Sci Rep* 9, 18.332 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54921-5>
- [21] PINCHUK, Anatoliy O.; SCHATZ, George C. **Metamaterials with gradient negative index of refraction**. *JOSA A*, v. 24, n. 10, p. A39-A44, 2007.
- [22] Radosz, A., Augousti, AT & Siwek, A. **On the nature of cosmological redshift and spectral shift in Schwarzschild-like and other spacetimes**. *Gen Relativ Gravit* 45, 705–715 (2013). <https://doi.org/10.1007/s10714-012-1495-4>
- [23] ROGERS, Adam. **Frequency-dependent effects of gravitational lensing within plasma**. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 451, n. 1, p. 17-25, 2015.
- [24] ROSENBERG, Leslie J.; VAN BIBBER, Karl A. **Searches for invisible axions**. *Physics Reports*, v. 325, n. 1, p. 1-39, 2000.
- [25] SALATI, Pierre. **Cosmology and dark matter**. In: **Particle Physics: Ideas and Recent Developments**. Springer, Dordrecht, 2000. p. 417-510.
- [26] Salucci, P. **The distribution of dark matter in galaxies**. *Astron Astrophys Rev* 27, 2 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00159-018-0113-1>

- [27] Sarazin, X., Couchot, F., Djannati-Ataï, A. *et al.* **Can the apparent expansion of the universe be attributed to an increasing vacuum refractive index?** EUR. Phys. J. C 78, 444 (2018). <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-018-5932-8>
- [28] SOARES, Domingos SL. **O efeito Hubble.** 2009.
- [29] SOARES, Domingos. **De Schwarzschild a Newton.** *Rev. Bras. Ensino Fís.* [online]. 2020, vol.42 [cited 2020-11-28], e20190262. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172020000100801&lng=en&nrm=iso>. Epub Feb 07, 2020. ISSN 1806-9126.
- [30] TAO, Hu et al. **Flexible terahertz metamaterials: Towards a terahertz metamaterial invisible cloak.** In: 2008 IEEE International Electron Devices Meeting. IEEE, 2008. p. 1-4.
- [31] TOLOBA, Elisa et al. **Dark matter in ultra-diffuse galaxies in the Virgo cluster from their globular cluster populations.** *The Astrophysical Journal Letters*, v. 856, n. 2, p. L31, 2018.
- [32] Trinchera, A. (2021) **Redshift Anomaly on the Solar Disk as Multiple Interactions between Photons and Electrons.** *Journal of High Energy Physics, Gravitation and Cosmology*, 7, 1-51. doi: [10.4236/jhepgc.2021.71001](https://doi.org/10.4236/jhepgc.2021.71001).
- [33] WANG, Ling Jun. **An Alternative Cosmology to the Big Bang-Dispersive Extinction Theory of Red Shift.** *Applied Physics Research*, v. 5, n. 2, p. 47, 2013.
- [34] Yang, W., Leng, J., Zhang, S. *et al.* **Detecting Topological Defect Dark Matter Using Coherent Laser Ranging System.** *Sci Rep* 6, 29519 (2016). <https://doi.org/10.1038/srep29519>