

4 Discussão

Os resultados obtidos nas seções 3.2 e 3.3 mostram que a dependência quadrática do rendimento de dessorção com a perda de energia do projétil é mantida quando o gelo é irradiado por íons de Ni de altas energias (46 MeV e 537 MeV no caso do gelo de CO), como encontrado por Brown et al. (1982; 1984). Conclui-se que, para projéteis distintos e para diferentes gases condensados (H₂O, CO e CO₂), a dependência quadrática $Y \sim S^2$ é verificada para um grande intervalo de energia do projétil (keV – MeV). Essa informação é relevante pois permite que o rendimento de dessorção total induzido por cada componente dos raios cósmicos galácticos em gelos astrofísicos possa ser estimado.

Considerando um manto de gelo composto principalmente de H₂O (a molécula mais abundante nos mantos de grãos do meio interestelar depois do H₂), a relação que descreve o comportamento do rendimento de dessorção em função da taxa de perda de energia eletrônica é obtida ajustando uma função quadrática nos dados de Brown et al. (1982): $Y = 0,003 S_e^2$, onde Y representa o rendimento de dessorção em unidades de moléculas/impacto e S_e representa a taxa de perda de energia eletrônica em unidades de $10^{-15} \text{eVcm}^2/\text{molécula}$. Os valores de perda de energia eletrônicas foram calculados utilizando a rotina SRIM (Ziegler & Biersack, 2006) para sete componentes diferentes dos raios cósmicos (H, C, O, Mg, Si, Fe, e Ni) no intervalo de energia correspondente aquele utilizado por Shen et al. (2004). A influência do vento solar impede medidas mais precisas de abundância dos componentes dos raios cósmicos com energias menores do que 1 MeV/u. A figura 4.1 mostra a variação do S_e em função da energia/massa (1 – 10 GeV/u) para cada projétil citado acima sobre gelo constituído de água pura.

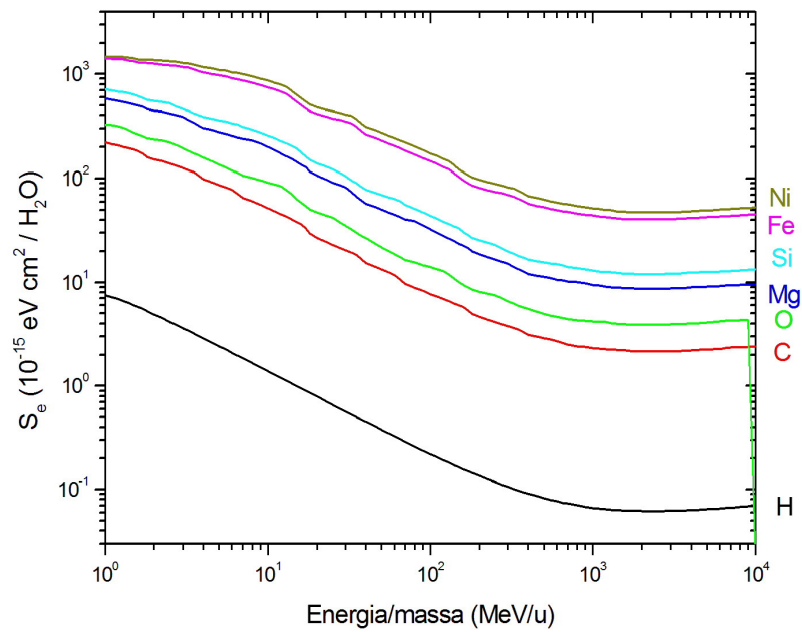


Figura 4.1 – Taxa de perda de energia eletrônica de diferentes íons presentes nos raios cósmicos em função da energia no intervalo de 1 – 10 GeV/u.

Utilizando a relação $Y = 0,003 S_e^2$, o rendimento de dessorção pode ser calculado em função da energia do projétil incidente para cada componente do raio cósmico (Figura 4.2). A dessorção induzida pelo próton é muito baixa comparada às induzidas pelos demais íons pesados porque a taxa de perda de energia do próton é muito baixa no intervalo de 1 – 10 GeV/u (Figura 4.1)

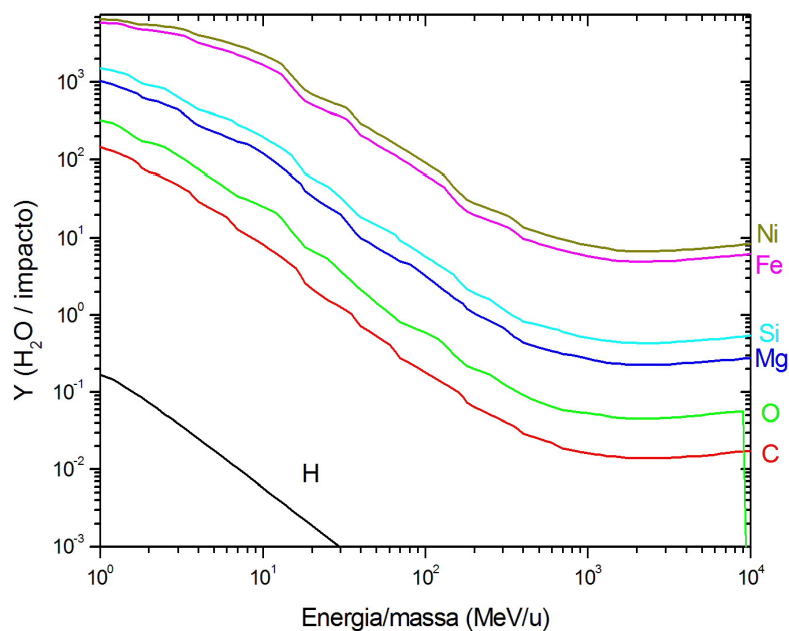


Figura 4.2 – Rendimentos de dessorção de gelo de água pura induzidos por diferentes íons contituíntes dos raios cósmicos, em função da energia do íon incidente.

Entretanto, para se conhecer a real contribuição de cada componente na dessorção dos mantos de gelo no meio interestelar, deve-se levar em consideração a abundância de cada um nos raios cósmicos. Os fluxos diferenciais (dn/dE) de três constituintes (H, Fe e Ni) foram calculados partir da equação 1.1 obtida por Shen et al. (2004). Supondo que os demais constituintes dos raios cósmicos tenham fluxos similares, a figura 4.3 mostra os fluxos diferenciais dos diferentes íons nos raios cósmicos.

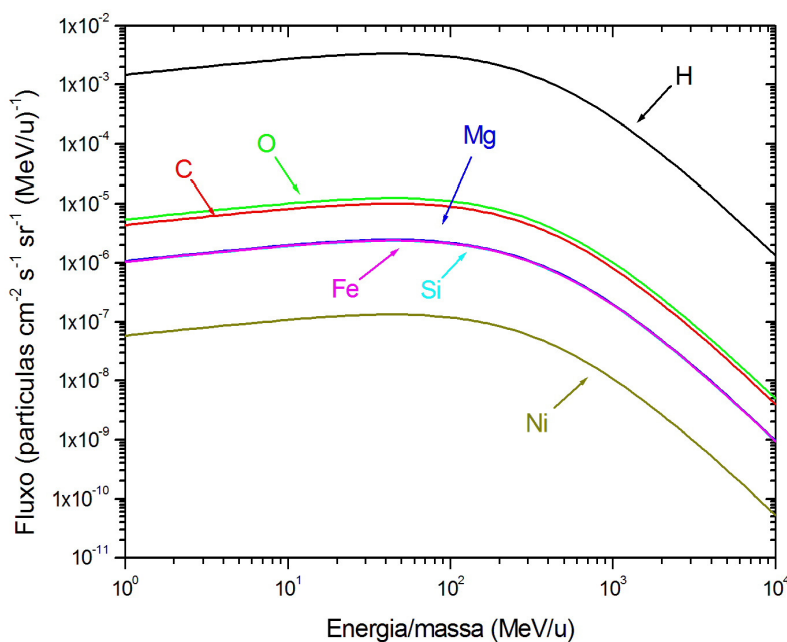


Figura 4.3 – Fluxo diferencial dos íons próton, carbono, oxigênio, magnésio, silício, ferro e níquel no intervalo de energia de 1 – 10 GeV/u.

O rendimento de dessorção total induzido pela contribuição de cada componente do raio cósmico, integrado no intervalo de energia de 1 – 10 GeV/u, é dado pela seguinte expressão

$$Y_i = 8\pi \int \frac{dn}{dE} Y(E) dE \tag{eq.4.1}$$

A figura 4.4 mostra as curvas dos rendimentos de dessorção totais em função da velocidade ao quadrado do projétil. Os rendimentos integrados em unidades de moléculas /cm² s⁻¹ também estão indicados no gráfico. Conclui-se que, mesmo sendo menos abundantes nos raios cósmicos, os efeitos da dessorção produzida pelos íons pesados são mais importantes do que aqueles induzidos pelos prótons e, portanto, devem ser levados em consideração nos modelos de nuvens moleculares.

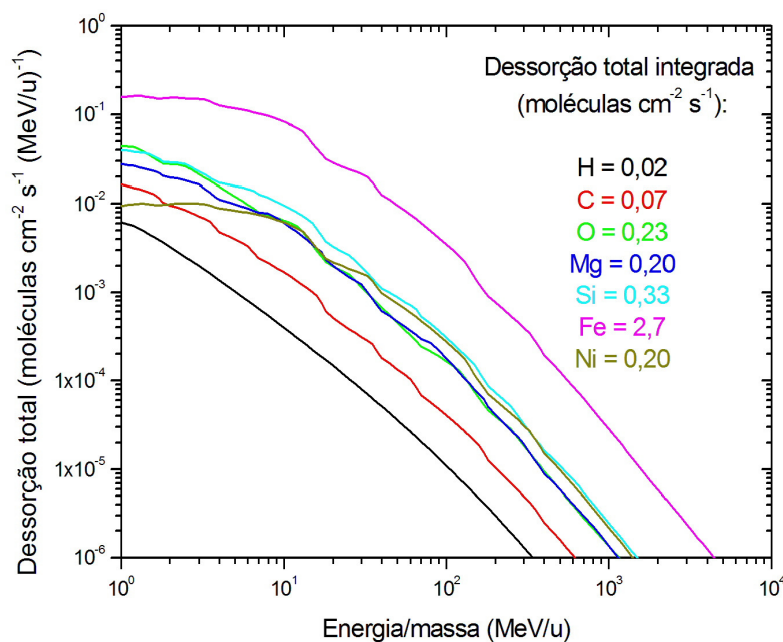


Figura 4.4 – Rendimentos de dessorção total em função das energia/massa dos projéteis induzidos por raios cósmicos em mantos de gelo compostos principalmente por H_2O . Os valores integrados para cada componente também estão presentes no gráfico.

A destruição das moléculas presentes no gelo, caracterizada pela seção de choque de destruição (Apêndice A), é outro efeito da irradiação medido neste trabalho. Para se conhecer a real contribuição de cada componente do raio cósmico na destruição das moléculas dos mantos de gelo em nuvens moleculares interestelares, é necessário estimar como a seção de choque de destruição varia com a taxa de perda de energia. Esta tarefa é, contudo, prejudicada pela falta de informações até o momento. A Figura 4.5 mostra valores de seção de choque de destruição da água irradiada com diferentes íons em função da taxa de perda de energia eletrônica (Luna & Montenegro 2005; Gomis et al. 2004). Apesar dos resultados esparsos, duas leis de potência foram ajustadas tentativamente aos dados: a primeira com uma dependência $\sigma_d \sim S_e^{1,47}$ e outra com uma dependência $\sigma_d \sim S_e^{2,5}$. Utilizando a relação $\sigma_d \sim S_e^{1,47}$, a seção de choque de destruição pode ser estimada grosseiramente em função da energia do íon para cada componente do raio cósmico.

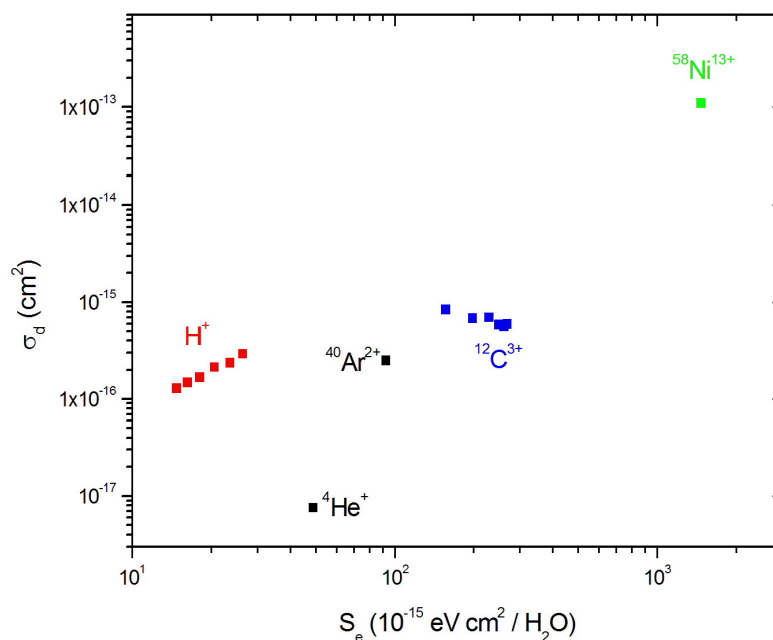


Figura 4.5 – Seções de choque de dissociação iônica e de destruição da água irradiada por H^+ (Werner et al 1995), ${}^{12}\text{C}^{3+}$ (Luna & Montenegro 2005), ${}^4\text{He}^+$ e ${}^{40}\text{Ar}^{2+}$ (Gomis et al. 2004) e ${}^{58}\text{Ni}^{13+}$ (este trabalho) em função da taxa de perda de energia eletrônica.

A taxa de destruição molecular induzida por cada componente do raio cósmico integrada no intervalo de energia/massa de 1 – 10 GeV/u é dada pela seguinte expressão

$$R = 8\pi \int \frac{dn}{dE} \sigma_d(E) dE \quad \text{eq.4.2}$$

onde $\sigma_d(E)$ é a seção de choque de destruição da água em função da energia do íon. A figura 4.6 mostra a taxa de destruição produzida por cada componente dos raios cósmicos bem como a taxa integrada no intervalo de energia entre 1 e 10^4 MeV/u.

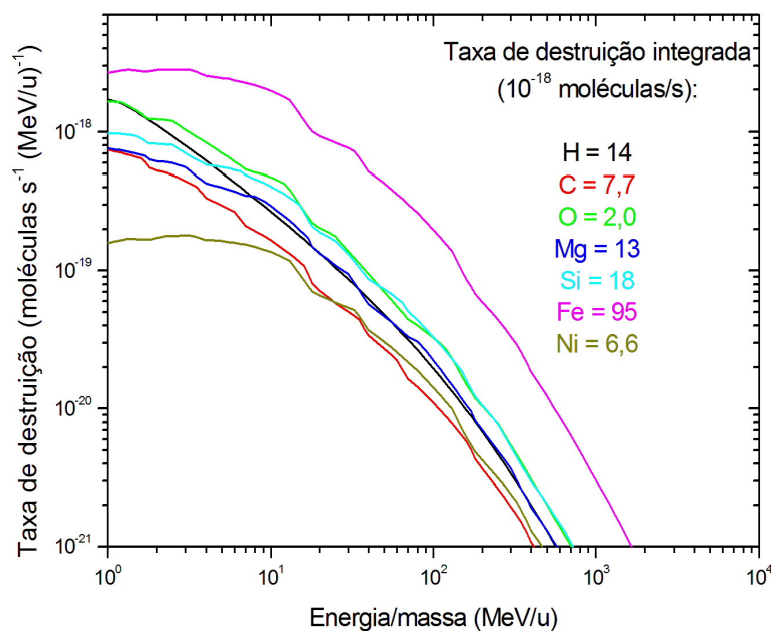


Figura 4.6 – Taxa de destruição em função da energia por massa. Os valores integrados no intervalo entre 1 e 10^4 MeV/u também são mostrados.

A Figura 4.6 mostra que, neste intervalo de energia/massa, a contribuição do próton para dissociar a molécula e contribuir para as reações químicas corresponde a apenas 10 % de todas as moléculas destruídas pelos íons pesados.