

A produção do conhecimento nas Ciências Exatas e da Terra 3

6,0 Gt CO₂

1,5 Gt CO₂

Ingrid Aparecida Gomes
(Organizadora)



Ingrid Aparecida Gomes

(Organizadora)

A Produção do Conhecimento nas Ciências Exatas e da Terra

3

Atena Editora

2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

P964 A produção do conhecimento nas ciências exatas e da terra 3
[recurso eletrônico] / Organizadora Ingrid Aparecida Gomes. –
Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (A produção do
Conhecimento nas Ciências Exatas e da Terra; v. 3)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-240-1

DOI 10.22533/at.ed.401190404

1. Ciências exatas e da terra – Pesquisa – Brasil. I. Gomes,
Ingrid Aparecida. II. Série.

CDD 507

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de
responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos
autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “A produção do conhecimento nas Ciências Exatas e da Terra” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu III volume, apresenta, em seus 22 capítulos, discussões de diversas abordagens acerca do ensino e educação.

As Ciências Exatas e da Terra englobam, atualmente, alguns dos campos mais promissores em termos de pesquisas atuais. Estas ciências estudam as diversas relações existentes da Astronomia/Física; Biodiversidade; Ciências Biológicas; Ciência da Computação; Engenharias; Geociências; Matemática/ Probabilidade e Estatística e Química.

O conhecimento das mais diversas áreas possibilita o desenvolvimento das habilidades capazes de induzir mudanças de atitudes, resultando na construção de uma nova visão das relações do ser humano com o seu meio, e, portanto, gerando uma crescente demanda por profissionais atuantes nessas áreas.

A ideia moderna das Ciências Exatas e da Terra refere-se a um processo de avanço tecnológico, formulada no sentido positivo e natural, temporalmente progressivo e acumulativo, segue certas regras, etapas específicas e contínuas, de suposto caráter universal. Como se tem visto, a ideia não é só o termo descritivo de um processo e sim um artefato mensurador e normalizador de pesquisas.

Neste sentido, este volume é dedicado aos trabalhos relacionados a ensino e aprendizagem. A importância dos estudos dessa vertente, é notada no cerne da produção do conhecimento, tendo em vista o volume de artigos publicados. Nota-se também uma preocupação dos profissionais de áreas afins em contribuir para o desenvolvimento e disseminação do conhecimento.

Os organizadores da Atena Editora, agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção dessa obra no viés da temática apresentada.

Por fim, desejamos que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Ingrid Aparecida Gomes

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
O LUGAR DE NASCER: A SITUAÇÃO DE FORTALEZA EM RELAÇÃO A ESTRUTURA DE HUMANIZAÇÃO DO PARTO NORMAL	
<i>Ana Edméa Teixeira Elias</i> <i>Gláucia Barbosa Sobreira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4011904041	
CAPÍTULO 2	10
SANGUE BOM: APLICATIVO MÓVEL PARA GERENCIAMENTO DE DOAÇÕES DE SANGUE	
<i>Renan Lamon Machado</i> <i>Luan Lamon Machado</i> <i>Susana Brunoro Costa de Oliveira</i> <i>Glaice Kelly da Silva Quirino Monfardini</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4011904042	
CAPÍTULO 3	17
ESTUDO SOROLÓGICO DO BOHV-1 E BVDV EM FÊMEAS BOVINAS LEITEIRAS JOVENS NA ZONA DA MATA RONDONIENSE	
<i>Caio Cezar da Silva</i> <i>Geraldo Francisco dos Santos Junior</i> <i>Evelyn Rabelo Andrade</i> <i>Jair Sábio de Oliveira Junior</i> <i>Amauri Alcindo Alfieri</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4011904043	
CAPÍTULO 4	19
FRACIONAMENTO E ANÁLISE ESPECTROSCÓPICA NO INFRAVERMELHO DE SUBSTÂNCIA HÚMICA PROVENIENTE DE MATERIAL DE COMPOSTAGEM	
<i>Ângelo Rafael Machado</i> <i>Joyce Cristina de Rezende</i> <i>Agnaldo Guilherme Novaes de Souza</i> <i>Vivian Machado Benassi</i> <i>Juan Pedro Bretas Roa</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4011904044	
CAPÍTULO 5	34
A SIMULAÇÃO DE INDICADORES DE PRODUTIVIDADE DA AVEIA A PARTIR DA DENSIDADE RECOMENDADA E AJUSTADA POR REGRESSÃO NA PROPOSIÇÃO DE MELHORIA DA INDICAÇÃO DE CULTIVO	
<i>Karla Kolling</i> <i>Denis Sidinei Rossi</i> <i>Luana Henrichsen</i> <i>Odenis Alessi</i> <i>Vanessa Pansera</i> <i>José Antonio Gonzalez da Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4011904045	

CAPÍTULO 6 40

MODELAGEM MATEMÁTICA À INOVAÇÃO NA RECOMENDAÇÃO DE NITROGÊNIO NA BASE E COBERTURA À MELHORIA DE EFICIÊNCIA DE ABSORÇÃO DO NUTRIENTE NA PRODUTIVIDADE DA AVEIA

Dênis Sidinei Rossi

Karla Kolling

Luana Henrichsen

Adriana Roselia Kraisig

Douglas César Reginato

José Antonio Gonzalez da Silva

DOI 10.22533/at.ed.4011904046

CAPÍTULO 7 46

REAPROVEITAMENTO DA CASCA DO OVO PARA ELABORAÇÃO DE FARINHA

Caroline Dallacorte

Camila Scheffer de Quadros

Samara Moro Behling

DOI 10.22533/at.ed.4011904047

CAPÍTULO 8 56

RESÍDUOS MADEIREIROS GERADOS EM DUAS MARCENARIAS DA SERRA GAÚCHA

Márcia Keller Alves

Alexandre Gomes Ribeiro

DOI 10.22533/at.ed.4011904048

CAPÍTULO 9 63

VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE GRAUTE PRODUZIDO COM AGREGADOS RECICLADOS PARA O REFORÇO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL

Luanna da Silva Diamantino

Edna Alves Oliveira

Jamile Salim Fuina

Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco

DOI 10.22533/at.ed.4011904049

CAPÍTULO 10 82

UNIDADES DE CONSERVAÇÃO E DESMATAMENTO EM RONDÔNIA: UMA ANÁLISE DA RESERVA ESTADUAL EXTRATIVISTA – RESEX JACI-PARANÁ

Ravele da Silva Santana

Siane Cristhina Pedroso Guimarães Silva

Maria da Conceição Silva

Helen Rose Oliveira da Silva

Liliana Borges Oliveira

Alcione Gomes Botelho

DOI 10.22533/at.ed.40119040410

CAPÍTULO 11	95
PROTÓTIPO DE UMA PORTA DESLIZANTE COM O MICROCONTROLADOR ARDUINO APLICADO À DISCIPLINA ELEMENTOS DE AUTOMAÇÃO	
<i>Felipe José Serpa da Silva</i>	
<i>José Claudenio da Silva</i>	
<i>César Vinicius Mota da Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.40119040411	
CAPÍTULO 12	103
CARTOGRAFIA E ICONOGRAFIA ANTIGAS NO PROCESSO EVOLUTIVO DAS TORRES MILITARES, CIVIS E RELIGIOSAS NA CIDADE DE ÉVORA - PORTUGAL	
<i>Maria do Céu Simões Tereno</i>	
<i>Maria Filomena Mourato Monteiro</i>	
<i>Marizia Clara de Menezes Dias Pereira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.40119040412	
CAPÍTULO 13	119
ESFERA DE BLOCH: INTERAÇÃO ENTRE TRENS DE PULSOS E SISTEMAS ATÔMICOS	
<i>Ronaldo Adriano do Nascimento Rodrigues</i>	
<i>Marco Polo Moreno de Souza</i>	
DOI 10.22533/at.ed.40119040413	
CAPÍTULO 14	133
ESTUDO DO GELO DE METANOL BOMBARDEADO POR AGENTES IONIZANTES EM AMBIENTES ASTROFÍSICOS SIMULADOS EM LABORATÓRIO	
<i>Fabricio Moreira Freitas</i>	
<i>Sergio Pilling Guapyassu de Oliveira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.40119040414	
CAPÍTULO 15	144
POTENCIAL DE INIBIÇÃO DE CORROSÃO DO EXTRATO ETANÓLICO DOS FRUTOS DE <i>Azadirachta indica</i> A. Juss (NIM, MELIACEAE)	
<i>Francisco Idelbrando Lima Rodrigues</i>	
<i>José Eduardo da Silva</i>	
<i>Francisco Lucas Alves Batista</i>	
<i>Franciglauber Silva Bezerra</i>	
<i>Luisa Célia Melo</i>	
<i>Francisco Ernani Alves Magalhães</i>	
<i>Francisco André Andrade de Aguiar</i>	
DOI 10.22533/at.ed.40119040415	
CAPÍTULO 16	152
PROPOSTA AVALIATIVA EM QUÍMICA GERAL A PARTIR DO ASSUNTO OLIMPÍADAS	
<i>Veronica de Melo Sacramento</i>	
<i>Gliciane Ramos Azevedo Oliveira</i>	
<i>Jessyka Mylleny Soares</i>	
<i>Anne Caroline Oliveira Araújo</i>	
<i>Melquisedeque Seixas Neves</i>	
<i>Renato Lucas Vieira Magalhães</i>	
<i>Matheus Filipe Ramos Souza</i>	
DOI 10.22533/at.ed.40119040416	

CAPÍTULO 17	160
UMA ABORDAGEM BASEADA EM WEBSOCKET PARA COMUNICAÇÃO EM TEMPO REAL NO GENEMAISLAB	
<i>Eliseu Germano</i>	
<i>Marcelo Gonçalves Narciso</i>	
<i>Edgard Henrique dos Santos</i>	
DOI 10.22533/at.ed.40119040417	
CAPÍTULO 18	170
UMA PRÁTICA DE DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE SOLAR	
<i>Alessandro Chicarelli Pereira</i>	
<i>Lev Vertchenko</i>	
DOI 10.22533/at.ed.40119040418	
CAPÍTULO 19	180
RELAÇÃO ENTRE VÓRTICES CICLÔNICOS DE ALTOS NÍVEIS E FORMAÇÃO DE DUTOS ATMOSFÉRICOS DE SUPERFÍCIE NA ÁREA DO AEROPORTO DE PETROLINA PE	
<i>Magaly de Fatima Correia</i>	
<i>André Gomes Penaforte</i>	
<i>Maria Regina da Silva Aragão</i>	
DOI 10.22533/at.ed.40119040419	
CAPÍTULO 20	195
PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE PARA MANGUEIRAS HIDRÁULICAS DOS VEÍCULOS COMPACTADORES DE RESÍDUOS SÓLIDOS	
<i>Francisco Igo Felix Gomes</i>	
<i>João Marcelo Carneiro</i>	
<i>Jully Amanda de Oliveira Ramos</i>	
<i>Lorena de Freitas Cavalcante</i>	
<i>Monaliza Sousa de Assis</i>	
DOI 10.22533/at.ed.40119040420	
CAPÍTULO 21	202
RECURSOS HÍDRICOS DA CIDADE DE ÉVORA: (RE)INTERPRETAÇÃO DE ALGUMA CARTOGRAFIA E ICONOGRAFIA HISTÓRICAS DA CIDADE	
<i>Maria Filomena Mourato Monteiro</i>	
<i>Maria do Céu Simões Tereno</i>	
<i>Marizia Clara de Menezes Dias Pereira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.40119040421	
CAPÍTULO 22	219
SELEÇÃO DE INDICADORES ASSOCIADOS À AVALIAÇÃO DE SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	
<i>Danielle Agnes M. dos Santos</i>	
<i>Fernando Jorge C. M. Filho</i>	
DOI 10.22533/at.ed.40119040422	
SOBRE A ORGANIZADORA.....	242

ESTUDO DO GELO DE METANOL BOMBARDEADO POR AGENTES IONIZANTES EM AMBIENTES ASTROFÍSICOS SIMULADOS EM LABORATÓRIO

Fabricio Moreira Freitas

Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP -
Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento (IP&D).
São José dos Campos-SP

Sergio Pilling Guapyassu de Oliveira

Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP -
Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento (IP&D).
São José dos Campos-SP

RESUMO: Trabalho sobre o gelo de metanol e seu comportamento quando bombardeado por dois agentes ionizantes distintos: raios-X moles e elétrons rápidos. Metanol (CH_3OH) é uma das mais abundantes moléculas orgânicas em vários locais do meio interplanetário e do meio interestelar. A análise in-situ da molécula é realizada através de espectros no infravermelho (IR) em gelos astrofísicos simulados em laboratório. A partir dos dados foi feita uma investigação experimental e teórica sobre a formação das moléculas de CO_2 , CO , H_2O e CH_4 durante a fotólise de gelo de CH_3OH ou seu bombardeio com elétrons. Também, através deste trabalho, foi possível determinar a fluência de equilíbrio químico (F_E). Essas fluências foram responsáveis por comparações com o Sistema Solar Exterior (na órbita de Saturno).

PALAVRAS-CHAVE: Astroquímica experimental; Astrofísica; Gelos Astrofísicos.

ABSTRACT: Work about methanol ice and its behavior when bombarded by two distinct ionizing agents: soft X-rays and fast electrons. Methanol (CH_3OH) is one of the most abundant organic molecules at various sites in the interplanetary medium and the interstellar medium. The in-situ analysis of the molecule is performed through infrared (IR) spectra in astrophysical ice simulated on laboratory. From the data, a theoretical and experimental investigation was made on the formation of CO_2 , CO , H_2O and CH_4 molecules during the photolysis of CH_3OH ice or your electron bombardment. Also, through this work, it was possible to determine the chemical fluence of equilibrium (FE). These fluences were responsible for comparisons with the outer solar system (in the orbit of Saturn).

KEYWORDS: Experimental astrochemistry; Astrophysics; Astrophysical ices.

1 | INTRODUÇÃO

O metanol (CH_3OH) que também pode ser denominado álcool metílico ou hidroximetano tem ponto de fusão em 175,5 K e ponto de ebulição em 337,8 K na pressão de 1 atm (10^5 Pa). Essa molécula foi escolhida por despertar interesse astroquímico devido a sua considerável abundância em ambientes protoestelares (MARET et al., 2006), em nuvens

interestelares (FRIBERG et al., 1988) além de cometas (BOCKELÉE-MORVAN et al., 1993). Em relação aos gelos interestelares, observa-se a presença de gelo de metanol em uma taxa que varia de 1% até próximo de 30% (GRIM et al., 1991; GIBB et al., 2004; ÖBERG et al., 2011). Sua primeira detecção ocorreu com o radiotelescópio NRAO na faixa de frequência de 834 MHz na direção do centro da Galáxia, mais precisamente em *Sagittarius B2* (BALL et al., 1970).

Além disso, o metanol é tido como precursor não somente de espécies simples como o metanoato de metilo (HCOOCH_3) e o éter dimetílico (CH_3OCH_3), mas também de muitas espécies pré-bióticas como açúcares e aminoácidos (ALLAMANDOLA & HUDGINS, 2000; HOLLIS, LOVAS & JEWELL, 2000; ANDRADE et al., 2009).

Nesse trabalho foi realizada uma análise do comportamento da destruição dessa molécula na fase sólida na presença de dois agentes ionizantes: raios-X moles (6 a 2000 eV) e elétrons rápidos (1 keV) de forma similar ao que ocorre nos meios interestelar e interplanetário e, também, o comportamento da formação de espécies filhas na presença desses agentes no decorrer do tempo.

2 | METODOLOGIA

O experimento foi realizado em dois locais: no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS/CNPEM) onde buscou simular os efeitos causados por raios-X moles (de 6 a 2000 eV) sobre um gelo de metanol, em temperatura constante de 12 K e no Laboratório de Astroquímica e Astrobiologia (LASA) da Universidade do Vale do Paraíba onde buscou simular os efeitos causados por elétrons rápidos (1 keV) sobre um gelo de metanol, em temperatura constante de 12 K. O experimento foi realizado com a câmara experimental Stark construída com recursos FAPESP (JP 2009/18304-0. Coord. Sergio Pilling) - Figura 1.

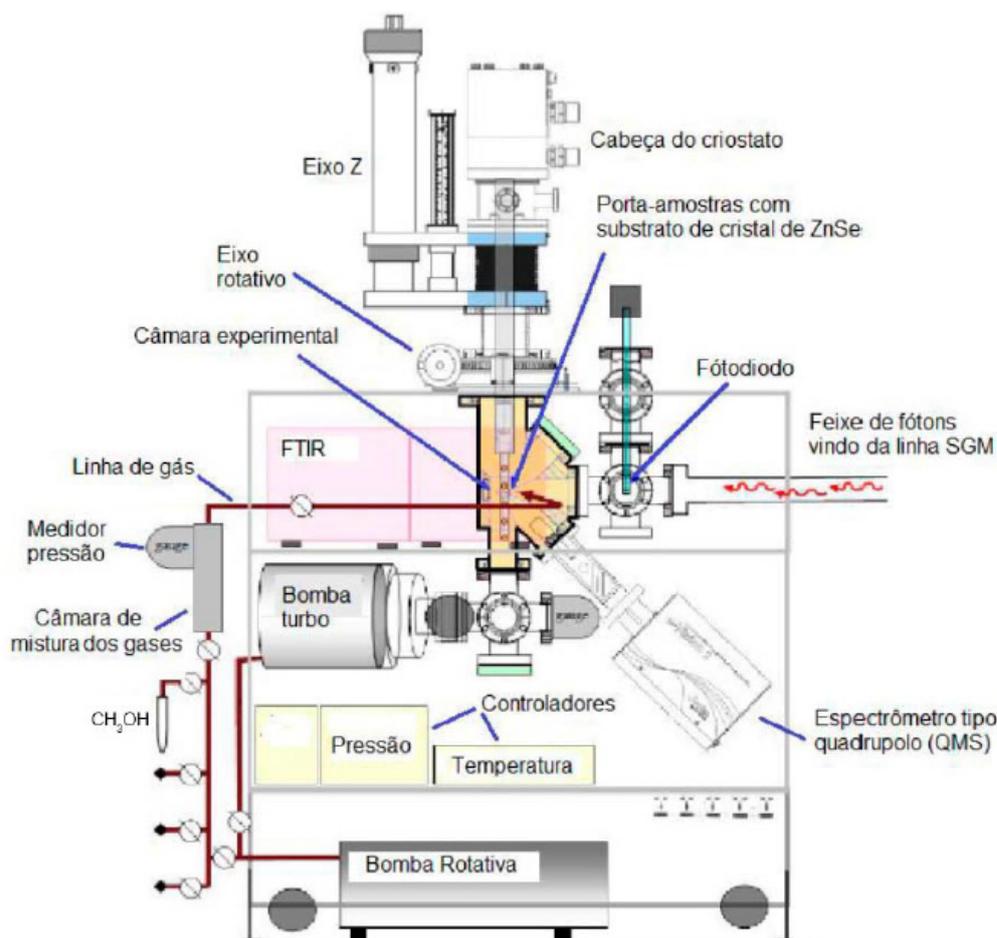


Figura 1: Desenho esquemático da câmara experimental do LASA, chamada de Câmara Stark, que foi acoplada à linha de luz SGM do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, em meados de junho de 2013. Fonte: Adaptado de Pilling & Bergantini (2015).

Para realização dos experimentos com o gelo de metanol puro, a câmara foi previamente evacuada à pressão de base de aproximadamente 5×10^{-8} mbar utilizando uma bomba de vácuo turbo-molecular, acoplada a uma bomba de vácuo rotativa que se encontra em temperatura ambiente. Após atingir a pressão de trabalho, um criostato de ciclo fechado de hélio (ARS Inc. modelo CS204AB-450) resfria um porta amostras rotativo que se encontra a temperatura de $(12 \pm 0,3)$ K. O porta amostras contém um cristal de seleneto de zinco (ZnSe), no qual o gás é depositado.

Uma ampola com metanol no estado líquido foi inserida na entrada do equipamento (indicado pela seta na figura 1) e, após a abertura da válvula de admissão, se transferiu para a pré-câmara (em fase gasosa) devido a diferença de pressão no local (pré-câmara mantida em vácuo, à temperatura ambiente). Posteriormente o CH_3OH foi sendo lentamente depositado no porta amostras através de um tubo capilar, mantido à cerca de 0,5 cm do cristal no decorrer de aproximadamente 5 minutos. A pressão na câmara, durante a deposição do metanol no cristal de ZnSe foi mantida em $\sim 1 \times 10^{-7}$ mbar.

Ao longo do bombardeio com agentes ionizantes o espectrômetro FTIR analisa os comprimentos de onda por um interferômetro de Michelson. O interferograma é

gerado pelo deslocamento de um espelho móvel e o espectro é obtido pela média de transformada de Fourier de vários interferogramas. Quanto maior a quantidade de interferogramas, maior é a razão sinal-ruído. Os espectros de infravermelho deste trabalho foram obtidos com resolução de 1 cm^{-1} e intervalo espectral de 4000 cm^{-1} a 900 cm^{-1} .

Os experimentos no LNLS foram feitos como parte de uma sessão de experimentos que durou aproximadamente 20 dias no primeiro semestre de 2013, enquanto os experimentos no LASA foram realizados em junho de 2015, sob a supervisão do Dr. Sérgio Pilling e seus estudantes. No presente trabalho esses dados foram processados e comparados entre si e com a literatura da área.

3 | RESULTADOS

Cada experimento foi analisado separadamente: raios-X moles com energias entre 6 a 2000 eV e elétrons rápidos com 1 keV. Em cada situação foi medida a destruição a partir de 3 modos de vibração característicos do gelo de CH_3OH : o estiramento OH que corresponde a banda em 3347 cm^{-1} , o estiramento simétrico e antissimétrico CH_3 que ocorre na região de 2900 cm^{-1} e o estiramento CO que ocorre na região de 1030 cm^{-1} .

Para avaliar a formação de espécies filhas a partir de cada irradiação foi tomado o espectro da amostra pura e comparado com o espectro após 250 minutos de irradiação com raios-X moles (6 a 2000 eV) identificando, assim, 4 espécies cujas áreas de banda podem ser consideradas e identificadas. As forças de banda de cada modo vibracional foram devidamente elencadas a partir das informações da literatura da área (Tabela 1).

Espécie Filha	ν (cm^{-1})	λ (mm)	B ($\text{cm}/\text{molécula}$)
CO_2	2342	4,27	$1,4 \times 10^{-16}$
CO	2136	4,68	$1,4 \times 10^{-17}$
H_2O	1657	6,04	$1,0 \times 10^{-17}$
CH_4	1301	7,69	$3,8 \times 10^{-18}$

Tabela 1: Espécies filhas, números de onda, comprimentos de onda e forças de banda em centímetros molécula⁻¹ de cada modo vibracional das espécies filhas geradas após a seção de choque de formação para a temperatura de 12 K.

Fonte: Adaptado de Hudgins et. al (1993), e trabalhos ali citados.

No experimento 1 realizado no laboratório nacional de luz síncrotron em Campinas, usando a câmara experimental do LASA (Univap), foram realizadas as medidas para gerar espectros do gelo de metanol em determinadas fluências. Utilizando os dados experimentais e realizando ajuste em função de uma exponencial associativa indicada em cada figura foi possível gerar gráficos de destruição de cada banda da molécula

e evolução da densidade de coluna de cada uma das 4 espécies filhas (Figura 2), usando (para definir cada ponto) a diferença entre as densidades de coluna ($N - N_0$) em função da fluência (medida em fótons por centímetro quadrado).

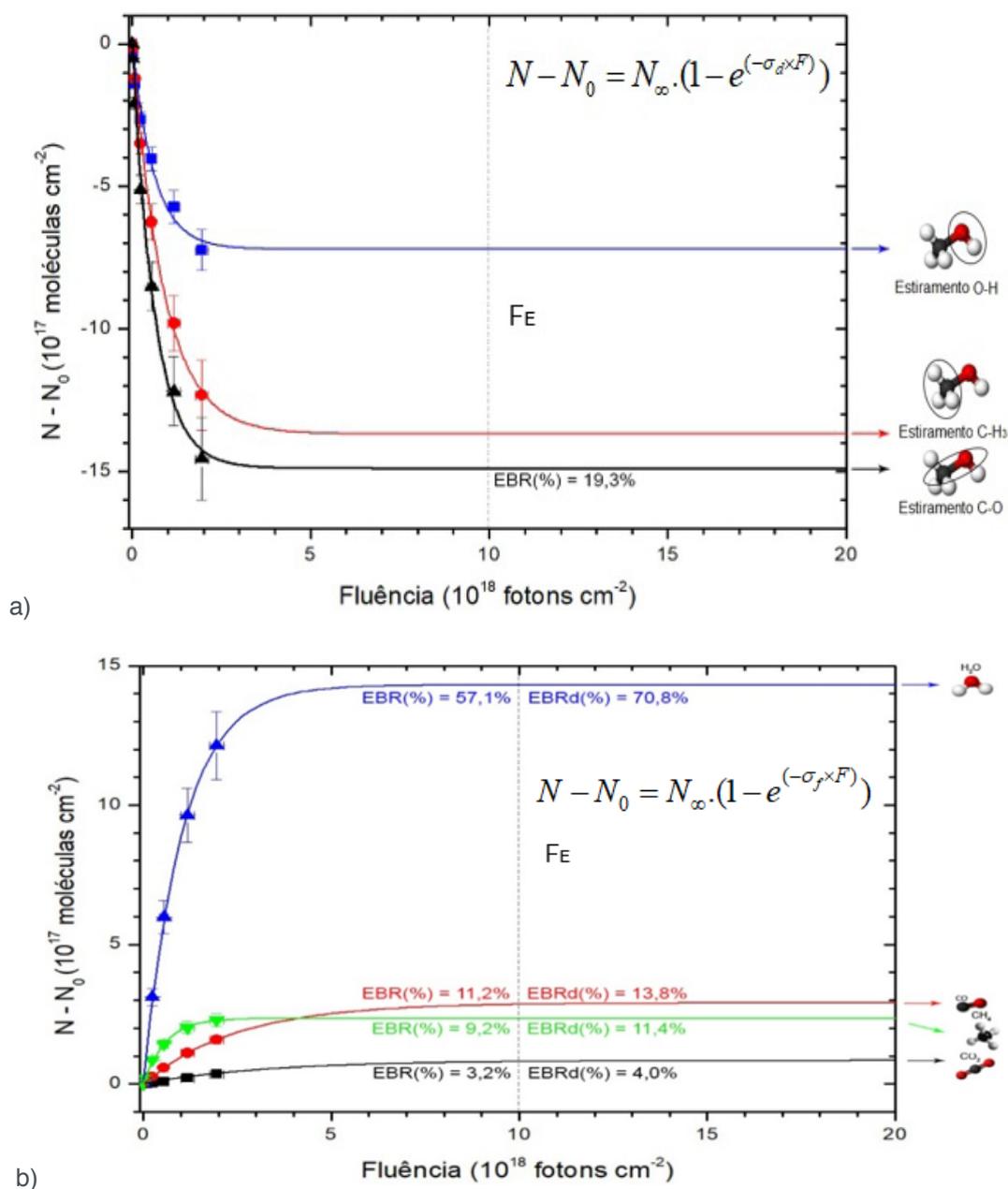


Figura 2: a) Gráfico da curva de destruição das bandas do metanol irradiado com raios-X moles, indicados através da diferença entre densidades de coluna em função da fluência de fótons. b) Gráfico da evolução da abundância das espécies filhas do metanol irradiado com raios-X moles indicados através da diferença entre densidades de coluna em função da fluência de fótons. A linha pontilhada vertical indica a posição estimada da fluência de equilíbrio químico (F_E). Dessa fluência em diante a composição química da amostra praticamente não sofre alterações durante o processamento pela radiação ionizante (mais evidenciado ao combinarmos essas figuras).

No experimento 2 realizado no laboratório de astroquímica e astrobiologia da Univap (LASA), foram realizadas as medidas para gerar espectros do gelo de metanol em determinadas fluências. O comportamento dos gráficos apresentados na Figura 3 apresenta a destruição do gelo de metanol devido a irradiação contínua com os elétrons rápidos e o surgimento de espécies filhas devido ao mesmo motivo já com

o mesmo ajuste realizado na figura através de exponencial associativa. No que diz respeito a destruição da molécula, os dados conseguidos experimentalmente a partir dos espectros no infravermelho foram usados para determinar a evolução numérica da abundância de cada banda do metanol. Devido as características experimentais foi indicado um erro de 10% na medida da diferença entre densidades de coluna ($N - N_0$) e de, no máximo, 20% na medida da fluência de cada agente ionizante. Foi indicado, ainda, nas figuras uma linha vertical pontilhada que se refere a fluência de equilíbrio químico (F_E) do sistema (VASCONCELOS et al, 2017). Essa posição indica que, a partir daquela fluência, praticamente não haverá mais variação na diferença entre densidades de coluna de metanol na presença daquele agente ionizante em específico. Abaixo das curvas de destruição da banda C-O (representada em preto nos gráficos), adotada como referência de destruição da molécula de metanol. Foi indicado, ainda, o valor da abundância percentual de cada espécie após o equilíbrio químico identificada pelo termo em inglês equilibrium branching ratio ($EBR(\%)$).

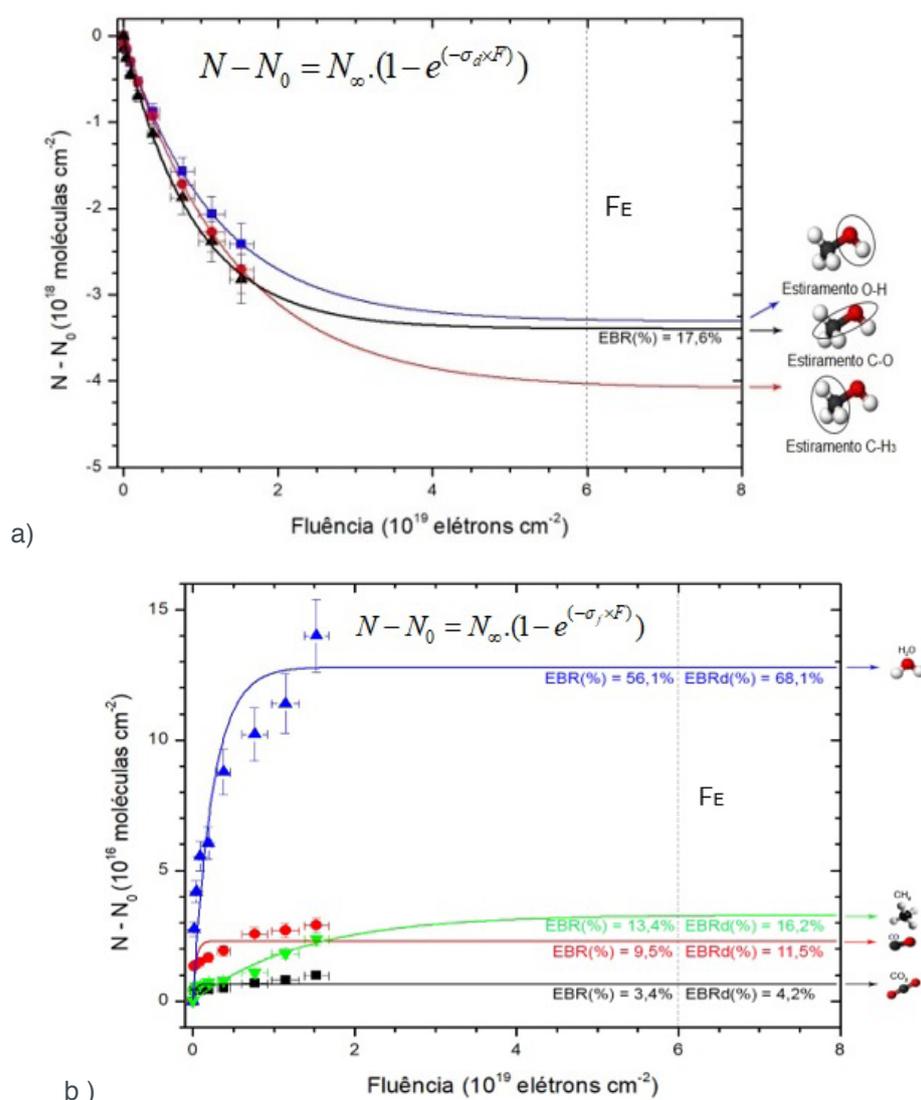


Figura 3: a) Gráfico da curva de destruição das bandas do metanol irradiado com elétrons rápidos, indicados através da diferença entre densidades de coluna em função da fluência de fótons. b) Gráfico da evolução da abundância das espécies filhas do metanol irradiado com elétrons rápidos indicados através da diferença entre densidades de coluna em função da fluência de elétrons. A linha pontilhada vertical indica a posição estimada da fluência de equilíbrio químico (F_E). Dessa fluência em diante a composição química da amostra

praticamente não sofre alterações durante o processamento pela radiação ionizante (mais evidenciado ao combinarmos essas figuras).

As equações da evolução numérica da abundância do metanol ajustaram as curvas dos gráficos apresentados e originaram a tabela (Tabela 2) com a indicação das seções de choque efetivas de destruição de cada banda. Para uma análise do comportamento da destruição da molécula foi determinada a média aritmética das destruições de cada banda significativa e chamado de valor médio. Este valor serve de referência para notarmos que o estiramento C-O (indicado em negrito na tabela) é o melhor representante para a destruição efetiva do gelo de metanol por corresponder a ‘espinha dorsal’ (backbone) desta molécula e por ser, independente do agente ionizante, recorrentemente o valor mais intenso dessa grandeza.

Condição	s_d (raios-X moles)	s_d (elétrons 1 keV)
Estiramento O-H	$1,5 \times 10^{-18} \text{ cm}^2$	$8,5 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$
Estiramento C-H	$1,1 \times 10^{-18} \text{ cm}^2$	$7,1 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$
Estiramento C-O	$1,6 \times 10^{-18} \text{ cm}^2$	$1,1 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$
Valor médio	$1,5 \times 10^{-18} \text{ cm}^2$	$8,9 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$

Tabela 2: Seções de choque efetivas de destruição do gelo de metanol puro a 12 K irradiado por elétrons rápidos ou raios-X moles. Estiramento C-O, referência deste artigo, indicado em negrito.

Sobre as formações de espécies filhas devido aos agentes ionizantes, os dados obtidos experimentalmente foram usados para determinar a evolução numérica da abundância de cada espécie indicada (CO_2 , CO, H_2O e CH_4). Na figura 6 está indicado o comportamento da curva de formação molecular na presença da irradiação de cada agente. Devido as características experimentais conserva-se o erro de 10% na medida das diferenças de densidade de coluna e de, no máximo, 20% na medida da fluência de cada agente ionizante (já indicados no processo de destruição deste gelo).

As equações da evolução numérica da abundância de cada espécie filha ajustaram as curvas dos gráficos apresentados e deram origem a tabela (Tabela 3) com a indicação das seções de choque efetivas de formação de cada molécula.

Usando a fluência de equilíbrio químico e informações do fluxo de agentes ionizantes nas proximidades de Sturno, foi construída uma tabela de comparação de tempo de equilíbrio químico que está disposta na discussão desse artigo.

Espécie Filha	s_f (raios-X moles)	s_f (elétrons 1 keV)
CO_2	$3,0 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$	$3,1 \times 10^{-18} \text{ cm}^2$
CO	$4,1 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$	$2,6 \times 10^{-18} \text{ cm}^2$
H_2O	$9,7 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$	$4,1 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$
CH_4	$1,7 \times 10^{-18} \text{ cm}^2$	$7,4 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$

Tabela 3 – Seções de choque efetiva de formação de cada molécula no gelo de metanol puro a 12 K irradiado por elétrons rápidos ou raios-X moles.

4 | DISCUSSÃO

Nas proximidades de cada curva de formação nos gráficos foram indicados dois valores distintos identificados como $EBR(\%)$ e $EBRd(\%)$. Esses valores correspondem, respectivamente, ao equilibrium branching ratio (abundância percentual de cada espécie após o equilíbrio químico) e ao equilibrium branching ratio for daughter species only (abundância percentual de cada espécie filha após o equilíbrio químico). A tabela 4 apresenta a reunião dos valores de $EBR(\%)$ e $EBRd(\%)$ indicados em função dos agentes ionizantes estudados e separados por espécie molecular.

Molécula	Raios-X moles		Elétrons (1 keV)	
	EBR(%)	EBRd(%)	EBR(%)	EBRd(%)
CH ₃ OH*	19,3	---	17,6	---
CO ₂	3,2	4,0	3,4	4,2
CO	11,2	13,8	9,5	11,5
H ₂ O	57,1	70,8	56,1	68,1
CH ₄	9,2	11,4	13,4	16,2

Tabela 4 – Abundância percentual de cada espécie ($EBR(\%)$) e de cada espécie filha ($EBRd(\%)$) após a fluência de equilíbrio químico (F_E) do sistema para as condições experimentais estudadas.

* molécula pai.

Nota. Os valores calculados de $EBR(\%)$ e $EBRd(\%)$ correspondem, na prática, a limites superiores dessas medidas uma vez que eventuais espécies filhas podem estar sendo produzidas e serem invisíveis na faixa de espectro IR, motivo pelo não foram incluídas na realização desse cálculo.

Além das abundâncias, também foi determinada a escala de tempo (timescale) necessária para um sistema atingir o equilíbrio químico (T_E). Para concluir esse processo foi efetuada a razão entre a fluência de equilíbrio químico (F_E) de cada sistema e o fluxo de radiação (f) do agente ionizante em cada situação. A tabela 5 apresenta os valores de fluxo para o laboratório e para o Sistema solar exterior na vizinhança de Saturno (identificado como meio interplanetário).

Localização	Variável	Raios-X moles	Elétrons (1 keV)
Laboratório	Fluxo [$\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$]	$1,3 \times 10^{14}$	$1,1 \times 10^{15}$
	T_E [h]	21,4	15,2
	T_E [anos]	$2,4 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-3}$
Meio interplanetário	Fluxo [$\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$]	$4,9 \times 10^5$	$1,7 \times 10^5$
	T_E [anos]	$6,5 \times 10^5$	$1,1 \times 10^7$

Tabela 5 – Fluxo dos agentes ionizantes nas condições experimentais e no meio interplanetário

(em torno de 10 UA). Escalas de tempo necessárias para os sistemas atingirem F_E indicadas para os experimentos realizados em laboratório e para o meio interplanetário.

^a Fluxo de fótons fornecido como uma soma de UV e raios-X moles ($\sim 10 - 2000$ eV) fornecido para o Sistema Solar Exterior nas proximidades de Saturno (BENNETT et al., 2007). Fluxo de elétrons fornecido no Sistema Solar Exterior nas proximidades de Saturno (PILLING & BERGANTINI, 2015).

Em trabalhos anteriores, como Pilling et. al. (2010), foi usado ainda o conceito de tempo de meia vida molecular típica, determinado pela razão entre o $\ln(2)$ e a taxa de dissociação da molécula (k_d), considerando que a abundância da espécie pai estudada tendia a zero para grandes fluências, o que significa que o comportamento da curva de destruição da molécula irradiada era o de uma exponencial decrescente. Entretanto, existe uma nova concepção (adotada nesse artigo) de que o comportamento da curva de destruição é uma exponencial associativa decrescente que tende a um valor limite correspondente ao equilíbrio químico do sistema (quando a destruição e formação molecular do sistema atinge o valor máximo e a espécie pai forma espécies filhas que, por sua vez, também são destruídas e formam a espécie pai realimentando o sistema). Este limite pode ser maior ou menor do que a metade da abundância inicial da espécie pai dependendo apenas das condições da irradiação. A figura 4 ilustra a diferença entre os dois tipos de exponenciais decrescentes.

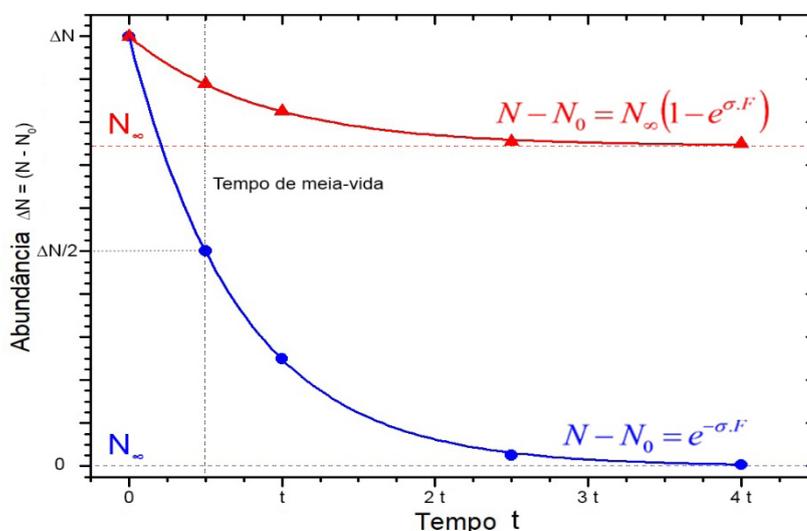


Figura 4: Gráfico teórico que apresenta a diferença entre o modelo de destruição molecular por exponencial decrescente (curva em azul) e o modelo de destruição molecular por exponencial associativa decrescente (curva em vermelho).

Como é possível notar pelo gráfico da figura 4, no intervalo de tempo $t/2$ a abundância do material se reduziu a metade do valor inicial na exponencial decrescente (motivo da expressão tempo de meia-vida). Essa medida é interessante porque é possível compreender que, toda vez que esse intervalo de tempo se passa, a abundância é novamente reduzida à metade da abundância anterior se aproximando cada vez mais do limite zero. Para a curva exponencial associativa decrescente o valor do tempo de meia vida molecular típico ainda é matematicamente válido, porém

simboliza o tempo necessário para a abundância da molécula ser reduzida à metade do valor limite atingido na fluência de equilíbrio químico. Como esse resultado não tem a mesma aplicação prática da curva de destruição por exponencial decrescente, foi substituído por T_E que nos apresenta uma relação mais relevante ao comportamento das espécies moleculares no decorrer das irradiações.

É importante salientar que os valores de T_E do laboratório são muito menores que os obtidos no meio interplanetários justamente para que se possa analisar, de forma viável, processos que levariam milênios para ocorrer em irradiações feitas em minutos ou horas de irradiações.

5 | CONCLUSÃO

Através dos valores determinados para a seção de choque efetiva de formação de cada espécie filha encontrada durante a fotólise / eletrólise do gelo de CH_3OH foi possível notar que a destruição no gelo puro foi mais intensa quando ocorreu a fotólise do que a eletrólise. Esse resultado sugere que a maior profundidade de penetração obtida pelos raios-X moles permite que esse agente destrua um maior volume de gelo do que os agentes com menor profundidade (elétrons rápidos).

A partir da determinação dos resultados de Equilibrium Branching Ratio (*EBR*(%)) dos três experimentos foi possível perceber que quanto maior a energia irradiada sobre a amostra, menor a proporção de formação das espécies CH_4 e CO_2 . A inferência mais provável é que isso ocorra devido a dependerem de canais de formação mais complexos.

A partir de fluxos extraídos na literatura e correspondentes ao meio interplanetário na vizinhança de Saturno foi estimada a escala de tempo de equilíbrio químico de gelos astrofísicos de metanol puro irradiados por determinados agentes ionizantes presentes nesse local (cerca de 10^6 anos).

6 | AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio financeiro das agências FAPESP (2009-18304-0), FINEP, CAPES e CNPQ (473772 / 2013-2). Agradecemos também o FVE / Univap pelo apoio na produção deste artigo.

REFERÊNCIAS

ALLAMANDOLA, L. J.; HUDGINS, D. M. From interstellar polycyclic aromatic hydrocarbons and ice to astrobiology. **Solid State Astrochemistry**. [s.l.] Springer, 2003. p. 251–316.

ANDRADE, D.P.P. et al. Frozen methanol bombarded by energetic particles: Relevance to solid state astrochemistry. **Surface Science**, v. 603, p. 1190–1196, 2009.

BALL, J.A.; GOTTLIEB, C.A.; LILLEY, A. E. and RARDFORD, H. E. Detection of Methyl Alcohol in Sagittarius . **The Astrophysical Journal**, v. 162, p. L203, 1970.

BENNETT, C. J. et al. Mechanical Studies on the Irradiation of Methanol in Extraterrestrial Ices. **The Astrophysical Journal**, v. 660, n. 2, p. 1588–1608, 2007.

BOCKELEÉ-MORVAN, D. et al. The rotational lines of methanol in comets Austin 1990 V and Levy 1990 XX. **Astronomy & Astrophysics**, v. 287, n. 2, p. 647–665, 1993.

FRIBERG, P. et al. Methanol in Dark Clouds. **Astronomy & Astrophysics**, v. 195, p. 281–289, 1988.

GIBB, E. L. et al. Interstellar Ice: The Infrared Space Observatory Legacy. **The Astrophysical Journal Supplement Series**, v. 151, n. 1, p. 35–73, 2004.

GRIM, R. J. A. et al. Infrared spectroscopy of astrophysical ices: new insights in the photochemistry. **Astronomy & Astrophysics Supplementary Series**, v. 78, n. Copyright (C) 2012 American Chemical Society (ACS). All Rights Reserved., p. 161–186, 1989.

HOLLIS, J. M.; LOVAS, F. J.; JEWELL, P. R. Interstellar Glycolaldehyde: The First Sugar. **The Astrophysical Journal**, v. 540, p. 107-110, 2000.

HUDGINS, D. M. et al. Mid- and far-infrared spectroscopy of ices: optical constants and absorbances. **The Astrophysical Journal Supplement Series**, v. 86, p. 713-870, 1993.

MARET, S. et al. Testing grain surface chemistry: a survey of deuterated formaldehyde and methanol in low-mas class 0 protostars. **Astronomy & Astrophysics**, v. 453, n. 3, p. 949–958, 2006.

ÖBERG, K. I. et al. the Spitzer Ice Legacy: Ice Evolution From Cores To Protostars. **The Astrophysical Journal**, v. 740, n. 2, p. 109, 2011.

PILLING, S. et al. Radiolysis of H₂O:CO₂ ices by heavy energetic cosmic ray analogs. **Astronomy & Astrophysics**, v. 523, p. A77, 2010.

PILLING, S.; BERGANTINI, A. The effect of broadband soft X-rays in SO₂ - containing ices: Implications on the photochemistry of ices toward young stellar objects. **The Astrophysical Journal**, v. 811, n. 2, p. 151, 2015.

VASCONCELLOS, F. A. et al. Energetic processing of N₂:CH₄ ices employing X-rays and swift ions: Implications for icy bodies in the outer solar system. **The Astrophysical Journal**, submetido, 2017.

SOBRE A ORGANIZADORA

Ingrid Aparecida Gomes - Bacharel em Geografia pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (2008), Mestre em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação Mestrado em Gestão do Território da Universidade Estadual de Ponta Grossa (2011). Atualmente é Doutoranda em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Foi professora colaborada na UEPG, lecionando para os cursos de Geografia, Engenharia Civil, Agronomia, Biologia e Química Tecnológica. Também atuou como docente no Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais (CESCAGE), lecionando para os cursos de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo. Participou de projetos de pesquisas nestas duas instituições e orientou diversos trabalhos de conclusão de curso. Possui experiência na área de Geociências com ênfase em Geoprocessamento, Geotecnologia, Geologia, Topografia e Hidrologia.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-240-1

